

„Platz für Raum?“

Untersuchung bezüglich des Realnutzens eines 3D-
Audio-Konzeptes im Kontext von österreichischer
elektronischer Popularmusik

Diplomarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades
Dipl.-Ing. für technisch-wissenschaftliche Berufe

am Masterstudiengang Digitale Medientechnologien an der
Fachhochschule St. Pölten, **Masterklasse Audio Design**

von:

Felix Rauchwarter, BSc

DM161536

Betreuer/in und Erstbegutachter/in: FH-Prof. Dipl.-Ing Hannes Raffaseder
Zweitbegutachter/in: Dipl.-Ing. Thomas Wagensommerer, MA BA BSc

Wien, 14.01.2019

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

Wien, 14.01.2019

.....

Ort, Datum

Unterschrift

_____ |

Kurzfassung

Das Thema 3D-Audio erlebt unter anderem durch VR-/AR- und 360°-Anwendung, die Bewegtbild-Industrie aber auch der Verwendung für Live-Beschallungen, eine gesteigerte Aufmerksamkeit durch Forschung und Medien. Ob und in welchem Ausmaß diese Techniken Einfluss auf zukünftige Produktionsprozesse besitzen, ist gegenwärtig ein umstrittenes Thema. Auch wenn Überlegungen zur Verbesserung der räumlichen Klangabbildung fast 50 Jahre zurückreichen, hat bis jetzt keiner dieser Ansätze eine großflächige Entfaltung in der populären Musikbranche erfahren und ihr Einsatz zählt weitgehend als Ausnahmefall. Auch die Forschung behandelte bisher überwiegend den Zusammenhang zwischen 3D-Audio und elektroakustischer Musik. Aufbauend auf dem aktuell gesteigerten Interesse für 3D-Audio und der fehlenden Thematisierung dieses Zusammenhangs in der Literatur, behandelt diese Diplomarbeit den Einsatz eines 3D-Audio Konzeptes durch österreichische elektronische PopularmusikerInnen.

Um herauszufinden ob durch den Einsatz eines 3D-Audio Konzeptes ein Realnutzen für österreichische MusikerInnen gegeben ist, werden problemzentrierte Interviews, in Kombination mit einem prototypischen Versuchsaufbau verwendet. Durch die Gestaltung und Testung einer Produktions- und Wiedergabeumgebung wird dessen Einsatz, für elektronische Musikproduktionen auf Durchführbarkeit und Einsatzmöglichkeiten untersucht.

Die Interviews, welche mit fünf österreichischen elektronischen Popularmusikern geführt werden, liefern einerseits Auskunft über die subjektive Meinung welche zu diesem Thema vorherrscht und bilden gleichzeitig die Grundlage für den im letzten Teil der Arbeit durchgeführten praktischen Versuch. Die auf diese Weise in den Interviews erlangten theoretischen Erkenntnisse, werden anschließend durch die Konfrontation mit einer nach Proof of Concept erstellten Produktions- und Wiedergabeumgebung überprüft. Aus den Ergebnissen der Arbeit geht hervor, dass ein Einsatz im Feld der Fokusgruppe einige anwendungsspezifischen Hürden mit sich bringt und demnach aktuell nur projektbezogen vorstellbar ist. Trotz alledem kann beobachtet werden, dass die Arbeit mit einem 3D-Audio Konzept als ansprechend empfunden wird und die Konfrontation mit diesem, einen positiven Einfluss auf die subjektive Meinung von MusikerInnen hat.

Abstract

Because of increased utilization in VR/AR and 360° applications, the movie industry and the use for live sound reinforcement, 3D audio currently experiences increased attention from research and media. Whether and to what extent the use of these techniques is going to influence future production processes is currently a controversial topic. Although considerations to improve spatial sound imaging date back almost 50 years, none of these approaches has yet experienced widespread adoption in the popular music industry, and their use is merely an exception. So far, research has predominantly discussed the relationship between 3D audio and electroacoustic music. Building upon the currently increasing interest in 3D audio and the lacking thematisation of their relationship in literature, this thesis addresses the use of a 3D audio concept for Austrian electronic pop-musicians.

In order to find out whether the use of a 3D audio concept can provide a perceptible benefit for Austrian musicians, problem-centered interviews are used in combination with a prototypical proof-of-concept setup. By designing and testing a production and playback environment, its use and feasibility in electronic music productions as well as possible applications are examined.

Interviews with five Austrian electronic pop-musicians, provide information about the subjective opinion prevailing on this topic on the one hand, and yield the basis for the practical experiment carried out in the last part of the work on the other hand. The theoretical insights gained throughout the interviews are then verified by confronting the subjects with a Proof of Concept production and playback environment. The results of this thesis unveil that 3d audio in the examined field entail application-specific hurdles which currently makes it only suitable for particular project-related use cases. Nevertheless, it is observed that working with a 3D audio concept is perceived as appealing and the confrontation with a multichannel system has a positive influence on the subjective opinion of musicians.

Danksagung

Mein Dank gilt allen Menschen, welche in der Zeit des Schreibprozesses in beratender oder unterstützender Funktion zu der Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen haben.

Allen voran meinen Betreuern **Hannes Raffaseder** und **Thomas Wagensommerer** für die kompetente Betreuung, die große Geduldbereitschaft und sämtliche Hilfestellungen.

Daniel Kohlmeigner, Daniel Hollinetz, Peter Kalcic, Sixtus Preiss und **Benedikt Dengler**, für die Bereiterklärung zur Teilnahme an den Interviews und dem Versuchsaufbau. Ohne sie wäre diese Arbeit unmöglich gewesen.

Alina Wuzella, für das Korrekturlesen und sämtliche Denkanstöße.

Aljoscha Wuzella, für die Hilfe bei der Erstellung der Fragebögen und die mentale Unterstützung.

Daniel Rudrich, für die intensive Hilfe und Fernwartung bei der Verwendung der IEM Plug-In-Suite.

Fabian Gamper, für das Korrekturlesen.

Ludovico Vignaga, für die Bereitstellung von firmeninternen Informationen.

Markus Zaunschirm, für die Hilfe bei der Exposé-Erstellung und das Korrekturlesen.

Thomas Böck, für die Hilfe bei der Ausmessung des Versuchsaufbaus und das Korrekturlesen.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, bei denen ich mich für die jahrelange Unterstützung und die Möglichkeit zu Studieren bedanken möchte.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	I
Kurzfassung	II
Abstract	III
Danksagung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Forschungsfragen	4
1.2 Struktur der Arbeit	5
1.3 Herangehensweise und empirische Methodik	6
1.4 Nomenklatur	7
1.5 Glossar	8
2 Grundlagen des räumlichen Hörens	11
2.1 Hören	11
2.1.1 HRTFs	13
2.2 Räumliches Hören bei einer Schallquelle	14
2.2.1 Schalleinfall in der Medianebene	14
2.2.2 Schalleinfall in der Horizontalebene	15
2.2.3 Wahrnehmung der räumlichen Tiefe	16
2.3 Räumliches Hören bei mehreren Schallquellen	16
2.3.1 Präzedenzeffekt	16
2.3.2 Summenlokalisation	17
2.3.3 Im-Kopf-Lokalisation	17
3 Definitionsversuch des Begriffes 3D-Audio	18
4 Unterscheidung der Konzepte und Systeme	20
4.1 Räumliche Tonübertragung	21
4.2 Räumliche Schallreproduktionsmodelle	22
4.2.1 Kanalbasiert	23
4.2.2 Objektbasiert	23
4.2.3 Szenenbasiert	24
4.2.4 Mischformen	24
4.3 Technische Konzepte	25
4.3.1 Wellenfeldsynthese (WFS)	25

4.3.2	Amplitude Panning	27
4.3.3	Binauraltechnik	29
4.3.4	Ambisonics	31
4.4	Wiedergabephilosophien	42
4.4.1	NHK 22.2	42
4.4.2	Auro-3D®	43
4.4.3	Dolby® Atmos™	48
4.4.4	IOSONO®	54
4.4.5	DTS:X	57
4.4.6	SpatialSound Wave	58
4.5	Systeme mit Fokus auf Musikwiedergabe	59
4.5.1	4DSOUND	60
4.5.2	Envelop	63
4.5.3	INTORNO LABS	66
4.6	Produktionsphasen	69
4.6.1	Produktion	69
4.6.2	Distribution	70
4.6.3	Reproduktion	71
5	Problemzentrierte Interviews	72
5.1	Kategorisierung der Fokusgruppe	73
5.2	Auswahlprozess und Kontaktaufnahme	74
5.3	Inhalt der Leitfäden	74
5.3.1	Gesprächsleitfaden (a)	75
5.3.2	Gesprächsleitfaden (b)	75
5.4	Durchführung und Dokumentation	75
5.5	Transkription	76
5.6	Auswertung und Interpretation	77
5.6.1	Auswertung der zweiten Interviewphase	78
5.7	Interviewpartner	79
5.7.1	Daniel Kohlmeigner	79
5.7.2	Daniel Hollinetz	79
5.7.3	Peter Kalcic	79
5.7.4	Sixtus Preiss	80
5.7.5	Benedikt Dengler	80
6	Erste Interviewphase	81
6.1	Begrifflichkeit und Bekanntheitsgrad	81
6.2	Einstellung zu dem Thema 3D-Audio	83
6.3	Persönliches Interesse	85
6.4	Hürden und Chancen	88
6.5	Zukunftsausblick	92
6.6	Fazit	95

7	Versuchsprotokoll	97
7.1	Fragestellung	98
7.2	Nachbereitung	98
7.3	Technisches Setup des Versuchsaufbaus	98
7.4	Software	103
7.4.1	IEM-Plug-In Suite	103
7.5	Struktur des Versuchs	115
7.5.1	Installation	115
7.5.2	Produktionsformat	116
7.5.3	Erstellung des Decoders	117
7.5.4	Blank-Session	119
7.5.5	Signalfluss	119
7.5.6	Routing	120
7.5.7	Reproduzierbarkeit des Versuchsaufbaus	122
7.5.8	Einschränkungen der Probanden	122
7.6	Einführung und Supervision	123
7.7	Ergebnisse	123
7.7.1	Daniel Hollinetz	123
7.7.2	Peter Kalcic	125
7.7.3	Daniel Kohlmeigner	127
7.8	Résumé	130
8	Fazit	131
9	Diskussion und Ausblick	134
	Literaturverzeichnis	137
	Interviewverzeichnis	152
	Abbildungsverzeichnis	155
	Tabellenverzeichnis	159
	Anhang	160
A.	Gesprächsleitfaden (a)	160
B.	Gesprächsleitfaden (b)	161
C.	Im Interview verwendete Abbildung	162
D.	Digitale Anhänge	163

*„Kunst ist schön, macht aber viel Arbeit.“
(Karl Valentin)*

1 Einleitung

Durch das Aufkommen neuer Entwicklungen im Multimediasektor verändert sich auch stetig der Zugang zu sowie der Umgang mit Klang, was mit einem konstanten Wandel auf dem Gebiet der Audiotechnik einhergeht. Nicht zuletzt durch den stattfindenden Boom rund um Virtual- und Augmented-Reality, steigt auch die Erwartung an die akustische Ebene und verfolgt den Trend einer Erweiterung um die dritte Dimension, mit dem Ziel der völligen Immersion (Bennett, 2017; Guttenberg, 2016; Küster, 2018; Neal, 2016; Titlow, 2017). So setzen sich in den letzten Jahren sowohl der akademische, als auch der Konsumenten-Sektor mit diesem Gebiet auseinander. Neben der Thematisierung von 3D-Audio auf wissenschaftlichen Tagungen (AES International Conference on Spatial Reproduction; Tokio 2018, ICSA; Graz 2017), beschäftigt sich auch eine steigende Anzahl von Internet- und Magazin-Artikeln mit diesem Thema. In Beiträgen mit Titeln wie „3D-Audio: Immersion für die Ohren“ (Küster, 2018), „Audio-only VR: Is it ready for prime time?“ (Guttenberg, 2016), „Can Spatial 3D Audio Reinvent Live Music?“ (Titlow, 2017), „Why Are We Still Listening to Music in Two Dimensions?“ (Neal, 2016), werden nicht nur neuartige Technologien thematisiert und neue Konzepte diskutiert, sondern auch hinterfragt welche Richtung die Entwicklungen in dieser Sparte einschlagen werden.

Während sich immersiver Klang in Kinos längst weltweit durchgesetzt hat, zeigen nun auch zunehmend andere Sparten Interesse an dieser Technologie (Kalker, Robinson, & Vessa, 2014). So widmen sich beispielsweise Live-Beschallungsfirmen seit 15 Jahren verstärkt diesem Thema. Mit verschiedenen Mehrkanalsystemen und Beschallungskonzepten, wird unter anderem in Theatern und bei Musicals experimentiert. Diese Experimente werden außerdem auch von etablierten Firmen wie d&b oder L-Acoustics aufgegriffen und im Rahmen von Live-Konzerten getestet. Die Firmen berichten, dass sich eine gesteigerte Nachfrage seitens des Kunden, aber auch seitens der TontechnikerInnen bemerkbar macht. Man steht jedoch mit der Vermittlung der Thematik noch am Anfang. Neben den beschallungsspezifischen Hürden wird

auch der gesteigerte Budgetaufwand angesprochen, welcher beim Einsatz von Mehrkanalsystemen zum Tragen kommt (Hoepfner, 2018).

Neue Wiedergabeverfahren, welche verschiedene Arbeitsweisen und Konzepte verwenden um eine Tonwiedergabe aus allen Raumrichtungen zu ermöglichen, werden im Allgemeinen unter dem Begriff „3D-Audio“ zusammengefasst. Ein Einsatz dieser Techniken kann die räumliche Wahrnehmung deutlich verbessern und auch in Bezug auf Parameter wie Umhüllung, Natürlichkeit und Klangfarbe bemerkbare positive Veränderungen erzielen (Wittek & Theile, 2016). Trotz des gesteigerten Interesses verschiedener Branchen und den wahrnehmungsspezifischen Vorteilen, hat es bisher keine großflächige Entfaltung dieser Konzepte gegeben. 3D-Audio bleibt deshalb vorerst ein Nischenbegriff. Ein Faktor welcher durchaus dazu beitragen könnte warum sich bisher noch keine dieser Techniken bei einer Vielzahl von KonsumentInnen und AnwenderInnen behaupten konnte und die Verwendung so auf eine kleine spezifische Interessensgruppen limitiert ist, könnten fehlende Standards bezüglich der 3D-Audio-Produktion und –Wiedergabe sein. Auch wenn einige Ansätze hinsichtlich Standardisierungen vorhanden sind, hat sich keine dieser Überlegungen bisher weitgehend durchgesetzt (Basnicki, 2015; Frank, 2014; Theile, Dickreiter, Graul, Camerer, & Spikofski, 2014).

Die Frage nach der Zukunft dieser Techniken wird nicht nur wiedergabeseitig thematisiert, sondern auch von elektronischen MusikproduzentInnen aufgegriffen. So meint beispielsweise der Chicagoer DJ Robert Bordignon¹ in einem Online-Interview, dass Techniken dieser Art in der elektronischen Musik eine große Rolle spielen, da die Szene seiner Auffassung nach neuen immersiven Produktionen gegenüber Offenheit zeigt und diese auch unterstützt (Bordignon & Mattana 2016).

Auch der Trance Produzent Matt Darey², welcher mit seinem Album „Wolf“ (2017) ein elektronisches Musikalbum veröffentlichte das für 7.1.4 3D-Sound im Dolby© Atmos™ Format (siehe Kapitel 4.4.3) geschrieben und produziert wurde, plädiert in einem Artikel dafür, dass 3D-Audio die elektronische Musikwelt nachhaltig verändern wird. Er beschreibt die Umhüllung durch den Klang als

¹ Vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://www.robertbordignon.com>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

² Vgl. Künstlerbiografie, abgerufen von <https://www.residentadvisor.net/dj/mattdarey/biography>, letzter Aufruf am, 13.01.2019.

völlig neues Erlebnis. Dies eröffnet nie dagewesene Produktionsmöglichkeiten und gibt ihm als Künstler mehr Freiheit über Positionen und Bewegungen von Objekten im Raum. Eine Hürde die er Anspricht sind die Kosten, welche im Vergleich zu konventionellen Stereo-Systemen aktuell noch relativ hoch sind. Er geht jedoch davon aus, dass wenn die Kosten sinken, diese Technik essentiell für elektronische Musikproduzenten wird und zusätzlich auch die Art verändern wird wie wir Musik wahrnehmen (Darey & Farmer, 2017).

Die gleiche These vertritt auch John Paul Titlow in seinem Artikel *“Can Spatial 3D Audio Reinvent Live Music?”*. Er geht davon aus, dass die Technologien rund um dieses Feld im Laufe der Zeit zugänglicher und kostengünstiger werden und es so gleichzeitig für ProduzentInnen und KonsumentInnen leichter und billiger wird 3D-Audio aufzunehmen, zu produzieren und wiederzugeben.

Der Londoner Künstler CJ Mirra³, welcher mit *„Space Trix Vol. 1“* (2015) eine Compilation aus Stücken für die 3D-Wiedergabe über Kopfhörer (siehe Kapitel 4.3.3) veröffentlichte, spricht von einer Stärkung der Verbindung zwischen MusikerInnen und KonsumentInnen, welche durch diese Technik begünstigt wird:

“Hearing music with this attention to location and movement gives you a greater connection to its creators and a heightened sense of engagement with the worlds they create. In a time when technology has lopped the edges off much of what gives music its life and soul, streamlining it into neat but dull packages, it’s refreshing to feel that sound is being used creatively once more.” (CJ Mirra & Potter, 2017)

Der selben Ansicht ist auch der amerikanische elektronische Musikproduzent David Miles Huber⁴, welcher schon einige Grammy-nominierte Produktionen in dem 3D-Format Auro 3D 9.1 (siehe Kapitel 4.4.2) veröffentlichte:

“Mixing music in 3D audio offers a true immersive experience, creating more emotional impact that brings listeners closer to my personal expression – in truth, bringing the listener closer to my artistic intent.” (Huber & Ramsey, 2017)

³ Bürgerlicher Name John Sampson, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://cjmirra.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

⁴ Vgl. Künstlerhomepage, angerufen von <https://davidmileshuber.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

Ausgehend von diesem allgemein gesteigerten Interesse, befasst sich die vorliegende Arbeit mit dem Thema 3D-Audio Verräumlichungskonzepten und deren Verwendung für die elektronische Popularmusikproduktion. In dem Artikel „3D-Audio: Immersion für die Ohren“ behauptet der Autor, Jörg Küster, dass besonders elektronische Musik für den Einsatz von 3D-Audio prädestiniert ist, da hier viele kreative Freiheiten erschlossen werden können. Auch in wissenschaftlichen Kreisen stellt man sich die Frage welche Relevanz 3D-Audio als alleinstehende Technologie in Bezug auf den kommerziellen Sektor besitzt (Mühlschlegel, Romanov, & Hoppe, 2017).

An diese Impulse anknüpfend, untersucht diese Arbeit den Realnutzen von 3D-Audio-Konzepten aus der Sicht von österreichischen elektronischen PopularmusikproduzentInnen. Ob durch die Anwendung eines 3D-Audio Konzeptes ein Mehrwert für KünstlerInnen besteht, ob MusikerInnen Interesse daran haben diese Techniken für eigene Produktionen anzuwenden und was der aktuelle Aufschwung für die Zukunft in diesem Sektor bedeutet, wird mittels empirischen Methoden im Zuge dieser Arbeit festgestellt.

1.1 Forschungsfragen

Durch das aktuell sichtbare gesteigerte Interesse, welches sich in verschiedenen Bereichen bemerkbar macht, widmet sich die Arbeit dem Ziel herauszufinden ob der Einsatz von 3D-Audio Konzepten einen merkbaren Vorteil für elektronische Popularmusikproduktionen liefert. Des Weiteren wird versucht herauszufinden, ob sich Trends feststellen lassen und zu ermitteln wie sich das erforschte Feld in Zukunft entwickeln könnte.

Forschungsfrage

Liefert die Anwendung von 3D-Audio Konzepten in der elektronischen Popularmusik attraktive Möglichkeiten für zukünftige Produktionen durch österreichische MusikerInnen?

Arbeitshypothese

3D-Audio-Mehrkanalsysteme sind für den Einsatz in elektronischen Popularmusikproduktionen zu aufwendig und bieten einen zu geringen Mehrwert.

1.2 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit kann gesamtheitlich betrachtet in zwei Teile gegliedert werden und setzt sich aus dem Theorieteil und einem Praxisteil zusammen, welcher die Interviews und den Versuchsaufbau behandelt.

Die Kapitel 1-4 führen in die Arbeit ein, behandeln wahrnehmungsspezifische Grundlagen und versuchen zu illustrieren, nach welchen Kriterien sich 3D-Audio differenzieren lässt. Zusätzlich wird ein Überblick über verschiedene Wiedergabephilosophien gegeben und dessen Anwendungsfälle im Fokusfeld aufgezeigt.

Kapitel 5 befasst sich mit der Definition der Fokusgruppe und gibt Aufschluss darüber, nach welchen Kriterien die Interviews geführt und ausgewertet werden.

Kapitel 6 thematisiert die Ergebnisse der ersten Interviewphase. Dabei werden unterschiedliche Aussagen analysiert, verglichen und ein erstes Fazit gezogen.

Die Struktur, Ausführung sowie die Ergebnisse des prototypischen Versuchsaufbaus, sind die Kernthemen welche in Kapitel 7 erläutert werden.

In Kapitel 8 werden die Forschungsergebnisse zusammengefasst und ein finales Fazit gezogen.

Schlussendlich wird in Kapitel 9 die Bedeutung der Erkenntnisse dieser Arbeit für die Zukunft kritisch betrachtet und anschließend einige während der Arbeit aufgeworfenen Fragestellungen diskutiert.

1.3 Herangehensweise und empirische Methodik

Literaturrecherche

Die Grundlagen des Hörens sowie die Abhandlung der verschiedenen Verräumlichungsverfahren und zugrundeliegenden Techniken werden mittels Literaturrecherche erarbeitet.

Leitfadengestützte Interviews

Die Interviews werden als problemzentrierte Interviews angelehnt an Witzel (1982, 1985) durchgeführt. Diese Befragungsmethode findet häufig Einsatz in der qualitativen Sozialforschung. Im Laufe der Interviews werden Fragen gestellt, welche zu den benötigten Ergebnissen und der Beantwortung der Forschungsfrage führen. Diese Fragestellungen sind jedoch offen formuliert, haben keine vorgegebenen Antwortmöglichkeiten und lassen so den Interviewten Spielraum bei deren Beantwortung. Im Mittelpunkt stehen Erfahrungen, Wahrnehmungen und Reflexion in Bezug auf das behandelte Thema. Die Interviews werden in zwei Phasen unterteilt, wobei die erste Phase vor und die zweite Phase nach der Teilnahme an dem Versuchsaufbau erfolgt.

Versuchsaufbau nach Proof-of-Concept

Der Versuchsaufbau wird als Proof-of-Concept (PoC) gestaltet. Mittels eines PoC kann festgestellt werden wie es um die Durchführbarkeit eines Vorhabens steht. So Risiken ermittelt und minimiert werden. Durch die Konzipierung und dem Versuchsdesign können so Akzeptanztests hinsichtlich der Anwendung durchgeführt werden. Zusätzlich ist es möglich Bereiche zu identifizieren, welche noch Verbesserungsbedarf aufweisen. Die so entstandene prototypische Arbeitsumgebung besitzt die wesentliche Kernfunktionalität und liefert hilfreiche Ergebnisse für diese Arbeit und etwaige zukünftige Auseinandersetzungen mit diesem Themenkomplex (Rat für Forschung und Technologieentwicklung, 2013). Nach Abschluss des Versuches werden qualitative Interviews geführt, in denen eine reflexive Bewertung der Arbeit im Versuchsaufbau und ein Vergleich zu eventuell zuvor bezogenen Stellungen stattfinden.

1.4 Nomenklatur

ADAT – Alesis Digital Audio Tape
AES – Audio Engineering Society
AllRAD – All-Round Ambisonics Decoding
AllRAP – All-Round Ambisonics Panning
AR – Augmented Reality
BRIR – Binaural room impulse response
CBA – Channel-based audio
DSP – Digital signal processor
DAW – Digital audio workstation
FOA – First-order Ambisonics
GUI – Graphical user interface/Grafische Benutzeroberfläche
HOA – Higher-order Ambisonics
HRTF – Head-related transfer-function
ICSA – International Conference on Spatial Audio
LFE – Low-frequency effects
MIDI – Musical Instrument Digital Interface
OBA – Object-based audio
RMS – Root Mean Square (Effektivwert eines Audiosignals)
SMPTE – Society of Motion Picture and Television Engineers
VR – Virtual Reality
WFS – Wellenfeldsynthese/Wave field synthesis

1.5 Glossar

Bevor versucht wird eine für die Arbeit gültige Definition für den Begriff „3D-Audio“ zu finden, wird hier in für die Arbeit relevantes Vokabular eingeführt.

Audio

Die elektrische Repräsentation von Klang, welche als elektrisches Signal nicht wahrnehmbar ist. Mit Hilfe eines Wandlers wird Klang in Audio konvertiert und vice versa.

Compilation

Zusammenstellung von Musikstücken eines oder mehrerer Interpreten.

Faltung

Faltung bezeichnet eine mathematische Operation, die für zwei Funktionen eine dritte liefert. Dies geschieht durch Kreuzmultiplikation oder Addition der zwei Ausgangsfunktionen. In der Audiotechnik findet dies beispielsweise Einsatz bei der Verwendung von Faltungshall, bei welcher ein Audiosignal mit einer Impulsantwort gefaltet wird.

Geräusch

Akustisches Ereignis ohne deutlich wahrnehmbare Tonhöhe und Aperiodizität im Frequenzspektrum.

Immersive Audio

Audio welches dafür konzipiert wird, in einer immersiven Beschallungsanlage wiedergegeben zu werden um eine immersive Erfahrung zu erzeugen.

Immersive Beschallungsanlage (Eng.: Immersive sound system)

Ein Beschallungssystem welches dafür konzipiert ist, immersiven Klang wiederzugeben.

Immersioner Klang (Eng.: Immersive sound)

Klang welcher in einem immersiven Schallfeld wahrgenommen wird.

Immersives Schallfeld (Eng.: Immersive soundfield)

Ein akustischer Raum welcher durch die Beschallung mit Klang aus allen drei Dimensionen (Horizontal-, Frontal- und Medianebene) entsteht.

Klang (Eng.: Sound)

Eine Druck- bzw. Dichteschwankung in einem elastischen Medium, welche vom auditiven System wahrgenommen wird und somit hörbar ist. Allgemein wird von einem Klang gesprochen, wenn Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe eines Schallereignisses wahrgenommen werden können.

Lautsprecherkonfiguration (Eng.: Soundfield configuration)

Eine, oftmals standardisierte, Lautsprecheranordnung für die Produktion von Schallfeldern. (zB.: Stereo, 5.1, 4.0)

LFE (Eng.: Low frequency effects)

Wird bei Kinofilmen zur Wiedergabe von tieffrequenten Effekten verwendet. Dieser Kanal ist meist bandbegrenzt und wird im Abhörweg um 10dB angehoben, was bei der Produktion berücksichtigt werden muss.

Plug-In

Als Plug-In wird eine Software-Erweiterung bezeichnet, welche den Funktionsumfang einer bestehenden Software erweitert, ergänzt oder verändert.

Schall

Die erzwungene Schwingung einer elastischen Materie.

Schallfeld (Eng.: Soundfield)

Benachbarte Moleküle eines Mediums werden durch eine äußere Kraft aus ihrer Ruhelage bewegt und resultieren in einer Welle. Ein Schallfeld ist die Gesamtheit der von einer Quelle abgestrahlten Wellen. Des Weiteren wird der akustische Raum welcher bei der Reproduktion einer oder multiplen Schallquellen entsteht, als Schallfeld bezeichnet.

Sweet Spot

Bezeichnung der Zone in dem ein akustisches Ereignis am effektivsten wiedergegeben werden kann bzw. in welcher es seine optimale Wirkung entfaltet.

Standalone-Software

Bezeichnung für „eigenständige“ Software. Beispielsweise eine Software die alleinstehend nutzbar ist und keiner Einbindung als VST-Plug-In in einer DAW bedarf.

Soundscape (dt. sinngemäß Klanglandschaft)

Ein Soundscape ist eine individuelle akustische Umgebung von welcher Menschen an bestimmten Orten umgeben werden. Diese können real (zB.: Stadt, Urwald) oder abstrakt/fiktiv (zB.: fremder Planet, Klangkunst) sein.

Ton

Akustisches Ereignis mit deutlicher Tonhöhe. Besitzt Periodizität im Frequenzspektrum und setzt sich aus Grundton und Obertönen zusammen.

Timbre

Als Timbre wird die Klangfarbe eines Tones bezeichnet. Hierzu tragen alle Parameter bei, welche es ermöglichen Schall von gleicher Tonhöhe und Lautstärke zu unterscheiden. Diese beinhalten neben dem zeitlichen Verlauf auch die Zusammensetzung aus Grundton, Obertönen und Rauschanteil.

Open-Source

Als Open-Source wird Software bezeichnet, dessen Quelltext öffentlich zugänglich ist. So kann die Software (meist) frei genutzt werden und durch den offenen Zugang auch abgeändert und verbreitet werden.

Renderer

Ein Algorithmus oder ein Hardwaregerät, welches Audiospuren und die dazugehörigen Metadaten liest und diese in die vorhandene Wiedergabekonfiguration überträgt.

Voice of God (od. VoG)

Als Voice of God wird der Lautsprecher bezeichnet, welcher sich direkt/senkrecht (Elevationswinkel: 90°) über einem Rezipienten befindet.

VST-Plug-In-Instrument

VST steht für „Virtual studio technology“ und bezeichnet ein von Steinberg eingeführtes Software-Protokoll für die Musik- und Tonproduktion. Das Protokoll ermöglicht den Dialog zwischen einer DAW und der Plug-In-Software. Ein überwiegender Teil vorhandener Software-Effekte oder virtueller Instrumente wird auf diese Weise realisiert.

2 Grundlagen des räumlichen Hörens

Da sich diese Arbeit mit 3D-Audio beschäftigt, ist es nötig die grundlegenden Hörvorgänge welche bei der Wahrnehmung eines Schallereignisses eine Rolle spielen zu kennen. Im Folgenden werden die wichtigsten psychoakustischen Phänomene, welche beim Richtungshören auftreten erläutert. Vertiefende Informationen können in folgenden Publikationen gefunden werden.

„Räumliches Hören - Komplettausgabe“, Jens Blauert, 1. Auflage (2013), S. Hirzel Verlag, ISBN: 978-3-7776-2287-3

„Audiodesign - Akustische Kommunikation, akustische Signale und Systeme, psychoakustische Grundlagen, Klangsynthese, Audioediting und Effektbearbeitung, Sounddesign, Bild-Ton-Beziehungen“, Hannes Raffaseder, aktualis. und erweit. 2. Auflage (2010), Hanser Fachbuchverlag, ISBN: 978-3-446-41762-5

„Handbuch der Audiotechnik“, Stefan Weinzierl (Hrsg.), 1. Auflage (2008), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-34301-1

2.1 Hören

Die Wahrnehmung von Schall in der Luft erfolgt biologisch gesehen, neben einem vernachlässigbaren kleinen Anteil durch den Schädelknochen, über die beiden Trommelfelle, welche sich am Ende des Gehörkanals in unseren Ohren befinden (Blauert & Braasch, 2008). Trifft eine Schallwelle auf das Ohr ist dieser Reiz physikalisch beschreibbar. Am Trommelfell angekommen wird das Schallereignis in ein elektrisches Signal umgewandelt und gelangt über die Nervenbahnen zum Gehirn. Erst jetzt empfinden wir diesen Reiz als Hörereignis (Dickreiter & Goeres-Petri, 2014). Der Kopf ist beweglich, und fungiert gemeinsam mit den Ohren und dem Rumpf im auditiven System als beweglicher Sensor. Dieser Sensor empfängt, verarbeitet und analysiert die wahrgenommenen Schallinformationen auf ihren Richtungs- Entfernungs- und Frequenzgehalt. Durch die menschliche Physiologie bedingt, besitzt jeder Sensor bezogen auf diese drei Parameter, eine bestimmte und einzigartige Richtcharakteristik. Diese Richtcharakteristik hilft dabei Schallereignisse auszuwerten und diese im Raum zu orten. In der Wissenschaft wird dieses Feld

„Räumliches Hören“ genannt und untersucht die Eigenschaften und die räumliche Ausdehnung von Hörereignissen und deren Wahrnehmung durch den Menschen. Um die damit einhergehenden Phänomene besser verstehen zu können, wird das kopfbezogene Polarkoordinatensystem nach Blauert verwendet (siehe Abb. 1). Mithilfe dieses grafischen Modells kann eine Beschreibung der Hörereignisorte und -ausdehnung erfolgen. Dieses Koordinatensystem umfasst drei Ebenen, wobei sich sein Ursprung in der Mitte der interauralen Achse zwischen den beiden Gehörkanaleingängen befindet (Blauert & Braasch, 2008).

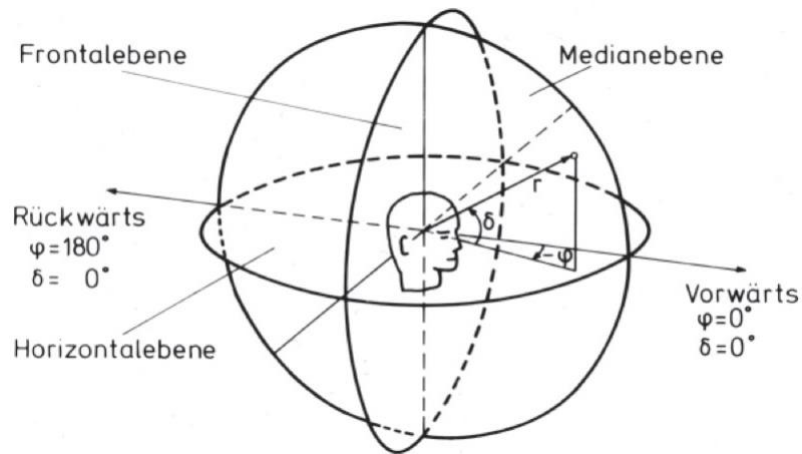


Abbildung 1: Kopfbezogenes Koordinatensystem nach Blauert (Blauert & Braasch, 2008)

Die Horizontalebene wird durch die interaurale Achse und die Unterkanten der Augenhöhlen gebildet. Die Frontalebene bildet einen rechten Winkel zur Horizontalebene und enthält ebenfalls die interaurale Achse. Die Medianebene trennt den Kopf in zwei Hälften, steht senkrecht zur Horizontalebene und Frontalebene und verläuft durch den Ursprung. Bei der Ortung eines Schallereignisses im Raum spielen die drei Parameter Azimut (Seitenwinkel φ in Grad), Elevation (Erhebungswinkel δ in Grad) und Entfernung (r in Metern) eine Rolle. Bei der Analyse des Schallereignisses werden vom Gehör bestimmte Merkmale verarbeitet, welche die Trommelfelle erreichen. Hierbei wird zwischen monauralen Merkmalen, für welche nur ein Ohr notwendig ist, und binauralen Merkmalen, welche bei einer Wahrnehmung durch beide Ohren auftreten, unterschieden. Zusätzlich zur Analyse durch das Gehörsystem, tragen auch andere Sinne, wie der Tastsinn oder der Sehsinn, zur Auswertung des Schallereignisses bei. So spielt beispielsweise die Kopfposition und deren Veränderungen in Drehung oder Position eine wichtige Rolle in der Auswertung von Schallinformationen. Verändert sich die Position oder die Drehung des Kopfes, so verändern sich auch die Ohrsignale in charakteristischer Weise und liefern so Informationen, welche zur genaueren Ortung beitragen können (Blauert & Braasch, 2008).

2.1.1 HRTFs

Trifft Schall auf den menschlichen Kopf, werden die Signale bezüglich ihres Frequenzspektrums linear verzerrt und verändern somit ihren Amplituden- und Phasenverlauf in Bezug auf das Spektrum. Diese Änderungen im Spektrum sind spezifisch für den Ort der Schallquelle relativ zu den Ohren. Durch die Addition von Direktschall und Ohrmuschel-Reflexionen wird so eine genauere Ortung in der Horizontal-, Frontal- und Medianebene möglich. Die spektralen Richtcharakteristiken, welche personenspezifisch sind, können mathematisch beschrieben werden und lassen sich als Außenohr-Übertragungsfunktionen oder Head-Related-Transfer-Functions bezeichnen. Diese werden messtechnisch erfasst, indem ein Mikrofon in die beiden Ohrkanäle einer Versuchsperson eingesetzt wird. In einem reflexionsarmen Raum wird ein breitbandiges Schallsignal über einen im Raum platzierten Lautsprecher wiedergegeben und durch die im Ohr angebrachten Mikrofone wieder aufgezeichnet (siehe Abb. 2). Anschließend werden die Übertragungsfunktionen zwischen Lautsprecher und den beiden Mikrofonen berechnet. Somit können jene spektralen Veränderungen ermittelt werden, welche auf dem Weg eines bestimmten Ortes im Raum zu einem Trommelfell aufkommen. Je nach Messaufwand kann so eine beliebige große Anzahl von Übertragungsfunktionen für definierte Orte bzw. Richtungen errechnet werden. Die Übertragungsfunktionen werden für jeden Ort mit den spezifischen Metadaten versehen und ergeben folglich für jedes Ohr eine einzigartige Übertragungsfunktion, die den Frequenzgang (f), die Entfernung des einfallenden Schalls (r), den Azimut (φ) und die Elevation (δ) beinhaltet. HRTF's spielen eine große Rolle bei der Wiedergabe von Schallsignalen über Kopfhörer. Die über Kopfhörer wiedergegebenen Signale können mit einer HRTF gefaltet werden, um eine naturgetreue Rundumtongung von theoretisch beliebig vielen Kanälen zu ermöglichen (Blauert & Braasch, 2008; Görne, 2011).

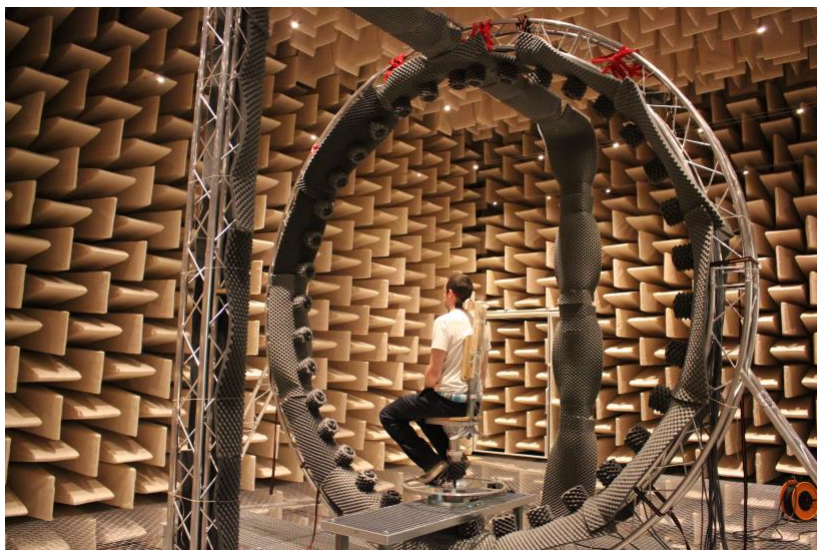


Abbildung 2: HRTF-Messung (TU Berlin & FG Audiokommunikation, 2018)

2.2 Räumliches Hören bei einer Schallquelle

Der folgende Teil behandelt die Wahrnehmung einer Schallquelle in einem freien Schallfeld. Freie Schallfelder sind reflexionsarme Umgebungen, welche in der Natur vorkommen können, aber auch im Labor künstlich erzeugbar sind. Auch wenn diese Situation eine kaum vorkommende Hörumgebung darstellt, liefert sie doch nützliche Rückschlüsse über die Schallwahrnehmung (Blauert & Braasch, 2008).

2.2.1 Schalleinfall in der Medianebene

Da die Medianebene den Kopf in zwei Hälften teilt, sind die Ohrsignale sehr ähnlich. Ein von Jens Blauert durchgeführter Hörtest (Blauert, 1969) zeigt, dass Richtungswahrnehmung bei einer Beschallung mit Schmalbandsignalen nicht durch die Schalleinfallsrichtung, sondern durch die Frequenz bestimmt wird. Durch dieses Erkenntnis konnten richtungsbestimmende Bänder (= *Blauertsche Bänder*) ermittelt werden, welche individualspezifisch sind. Diese Bänder umfassen jeweils einen bestimmten Frequenzbereich und sind ausschlaggebend dafür, ob ein Hörereignis „vorne“, „hinten“ oder „oben“ (In Bezug auf eine Nominalskala) wahrgenommen wird (Blauert & Braasch, 2008).

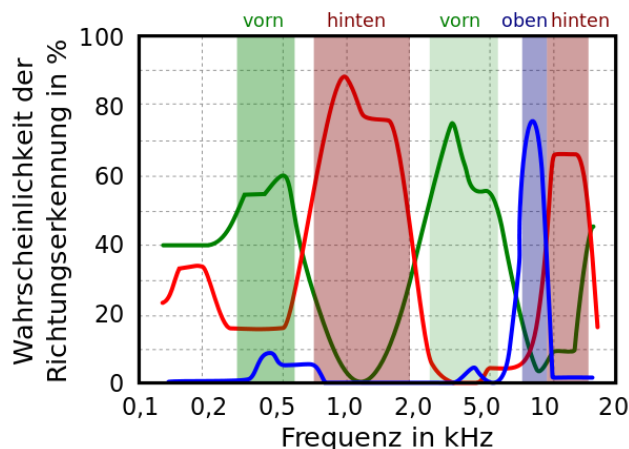


Abbildung 3: Richtungsbestimmende Bänder nach Blauert (Cepheiden, 2017)

Bei Breitbandsignalen stimmt die Richtungswahrnehmung meist mit der Schalleinfallsrichtung überein. Durch die Filterung des Außenohres werden je nach Einfallrichtung bestimmte Frequenzbereiche angehoben bzw. abgesenkt. Im Normalfall erfolgt die Anhebung im selben Frequenzbereich wie dem jeweiligen richtungsbestimmenden Band, der korrespondierenden Raumrichtung. Durch ihre Beschaffenheit fungiert die Ohrmuschel so als richtungsabhängiges Filter (Blauert & Braasch, 2008).

2.2.2 Schalleinfall in der Horizontalebene

Anders als bei Einfall in der Medianebene ergeben sich bei seitlichem Schalleinfall unterschiedliche Ohrsignale. Diese interauralen Unterschiede tragen stark zur präzisen Ortung bei und beziehen sich auf Differenzen in Pegel und Laufzeit.

2.2.2.1 Interaurale Pegeldifferenzen (eng.: Interaural Level Difference - ILD)

Bei ILD's ergeben sich durch den seitlichen Schalleinfall bedingt, unterschiedliche Pegel (in dB) in den zwei Ohren. Ist eine seitlich auf den Kopf treffende Welle in ihrer Wellenlänge kleiner als der Kopfumfang, wird sie reflektiert und erzeugt einen Druckstau auf dem zugewandten und einen Schallschatten auf dem abgewandten Ohr. Frequenzen welche reflektiert werden, sind dabei abhängig von dem Kopfdurchmesser und können bei einem Durchmesser von 17cm ab einer Frequenz $f \geq 2kHz$ entstehen (Görne, 2011).

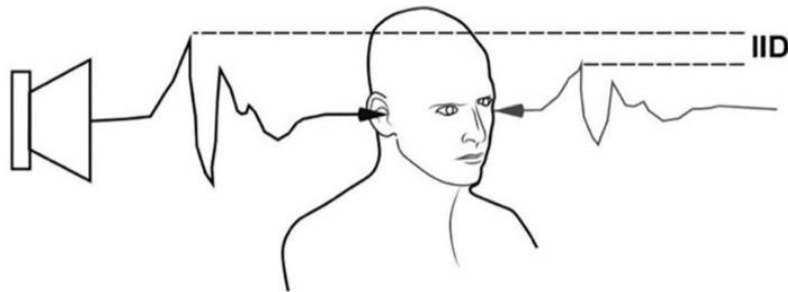


Abbildung 4: Interaurale Pegeldifferenzen (Wenzel, Begault, & Godfroy-Cooper, 2018)

2.2.2.2 Interaurale Zeitdifferenzen (eng.: Interaural Time Difference. ITD)

Im Gegensatz zu ILD's handelt es sich bei ITD's um unterschiedliche Ankunftszeiten (in ms) bzw. Phasenunterschiede der Schallwellen in beiden Ohren. Trifft ein Schallsignal seitlich auf den Kopf, erreicht es das zugewandte Ohr schneller als das abgewandte, was zu unterschiedlichen Ankunftszeiten führt und so eine Ortung der Schallquelle begünstigt. Durch den durchschnittlichen Ohrabstand von 17cm und den maximal möglichen Schallumweg um den Kopf (ca. 21cm bei einem Einfall aus 90°), ergibt sich eine maximale Laufzeitdifferenz τ (Tau) von 0,61ms. Die eindeutige Richtungsinformation ist jedoch nur dann möglich, wenn die Schallwellenlänge größer als der Schallumweg ist bzw. die Periodendauer länger als die Laufzeitdifferenz. Trifft eine reine Schwingung von 1,63kHz, was der maximalen Laufzeitdifferenz entspricht ($f = 1/0,61ms$), in einem Winkel von 90° auf den Kopf kann es sein, dass die Schallquelle frontal geortet wird, da die Ohrsignale nun phasengleich sind (Görne, 2011).

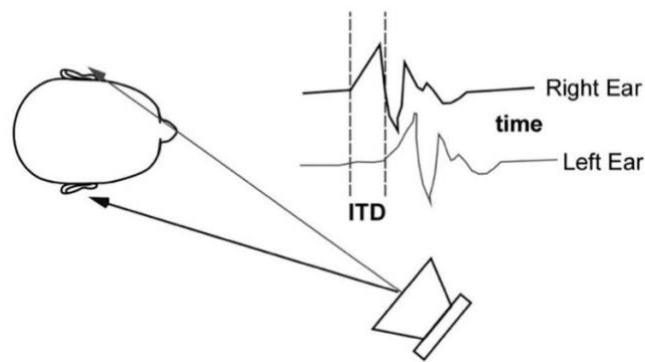


Abbildung 5: Interaurale Laufzeitunterschiede (Wenzel u. a., 2018)

2.2.3 Wahrnehmung der räumlichen Tiefe

Bei der Wahrnehmung eines Schallereignisses kann das menschliche Gehör neben der räumlichen Richtung auch die räumliche Tiefe gut einschätzen. Bei dieser handelt es sich um den Abstand des akustischen Ereignisses zum Ohr. Ob dieses aus dem Nah- oder Fernfeld kommt ist gut über die Bewertung der Lautstärke möglich. Da die Schallintensität bei kugelförmiger Schallausbreitung mit dem Quadrat des Abstandes abnimmt und somit pro Verdopplung der Entfernung 6dB an Schallenergie verloren gehen, sind erste Einschätzungen möglich. Die Entfernung nur über die Lautstärke festzustellen gestaltet sich jedoch insofern schwierig, da der Referenzwert zur Schallintensität der Quelle aus dem Nahfeld fehlt (Raffaseder, 2010).

Ein weiterer hilfreicher Faktor welcher Aufschluss über die Entfernung gibt, ist das Lautstärkenverhältnis von Direktschall zu reflektiertem Schall. Hinzu kommt, dass ab einer Entfernung von 15m unser Hörhorizont überschritten ist. Durch den langen Ausbreitungsweg ergibt sich so eine Dämpfung in den Höhen, welche weit entfernte Signale dumpf klingen lässt (Blauert & Braasch, 2008).

2.3 Räumliches Hören bei mehreren Schallquellen

Dieser Fall liegt vor, wenn mehrere unabhängige Schallquellen vorliegen, aber auch wenn eine Schallquelle und ihre Reflexionen wahrgenommen werden (Blauert & Braasch, 2008).

2.3.1 Präzedenzeffekt

Auf Grund der Ausbreitungsgesetze von Wellen in geschlossenen Räumen, trifft neben dem Direktschall auch eine Vielzahl von Reflexionen aus unterschiedlichen Richtungen auf einen Hörer. Trotz alledem ist es auch im

Diffusfeld möglich eine Schallquelle zu Orten, da diese stets in der Richtung verortet wird aus der die erste Wellenfront den Kopf erreicht. Dies wird auch als **Gesetz der ersten Wellenfront** bezeichnet und wurde von Lothar Cremer (1905-1990) als solches formuliert (Görne, 2011).

2.3.2 Summenlokalisation

Die Summenlokalisation liefert eine Erklärung für die Wahrnehmung von Phantomschallquellen bei der Lautsprecherwiedergabe. Wird in einer Stereo-Aufstellung, von zwei unterschiedlichen Lautsprechern dasselbe Signal abgestrahlt, nimmt der Zuhörer die Schallquelle nicht an den Lautsprechern, sondern in der Mitte der beiden wahr. Diese virtuelle Schallquelle ergibt sich durch die Überlagerung der beiden Schallfelder der einzelnen Lautsprecher. Ihre räumliche Ortung wird alleine durch die auditive Verarbeitung der Ohrsignale des Zuhörers gebildet. Werden die Laufzeiten bzw. Pegel der Lautsprechersignale verändert kann so die Position der Phantomschallquelle gesteuert werden. Die Summenlokalisation geht davon aus, dass durch die Schallfeldüberlagerung an beiden Ohren Summensignale resultieren, welche durch das Gehör nicht trennbar sind (Theile u. a., 2014).

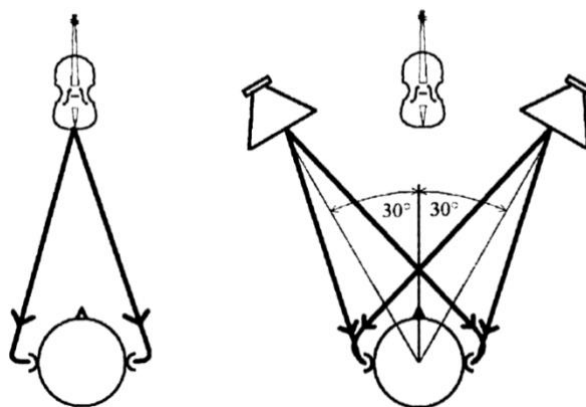


Abbildung 6: Quellwahrnehmung durch reale Schallquelle (links) und Summenlokalisation (rechts) (Backes & Müller, o. J.)

2.3.3 Im-Kopf-Lokalisation

Bei einer Wiedergabe von raumbezogenen Stereo-Aufnahmen über einen Kopfhörer, werden die Phantomschallquellen in der Mitte der interauralen Achse im Kopf lokalisiert. Dies geschieht, da bei einer Kopfhörerwiedergabe der Einfluss des Außenohres auf das Schallfeld fehlt. Bei einer längeren Wiedergabe kann dies zu einer raschen Ermüdung oder zu einem Druckgefühl auf den Ohren führen. Um diesem Effekt gegenzusteuern kann das Stereosignal mit einer HRTF (Im Idealfall der eigenen) gefiltert werden (Görne, 2011).

3 Definitionsversuch des Begriffes 3D-Audio

Da sich die vorliegende Arbeit mit 3D-Audio beschäftigt, muss vorab definiert werden worum es sich bei diesem Begriff handelt bzw. welche Definition für den Umfang dieser Arbeit verwendet wird. 3D-Audio wird oftmals auch mit dem Begriff „*Immersive Audio*“ beschrieben. Der Medientheoretiker Oliver Grau definiert in seinem 2003 erschienenen Buch „*Virtual Art – From Illusion to Immersion*“, Immersion als Verminderung der kritischen Distanz zu dem Dargestellten und einer Steigerung der emotionalen Verstrickung mit dem aktuell wahrgenommenen Geschehen. Auch wenn er sich bei dieser Charakterisierung auf visuelle Medien bezieht, trifft diese ebenso gut auf umhüllende Klangwelten zu. In dem Buch „*Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio*“ (2018) schreibt Wieslaw Woszczyk im Vorwort davon, dass immersiver Klang die Kapazität besitzt die nahtlose Illusion einer alternativen Realität zu kreieren. Er führt aus, dass dies unsere Beziehung zu und den Umgang mit Klang revolutionieren kann, da ein bisher nie dagewesenes kreatives Potential erschlossen wird. Und auch schon Durand R. Bergault bemerkte 1994, dass die Synthese und Manipulation von akustischem Raum, neue Erlebnisse generiert und den Stellenwert des Hörens im Umfeld von Datenverarbeitung deutlich verändert.

Anders als bei visueller Wahrnehmung kann Klang, zeitgleich aus allen Richtungen wahrgenommen werden und somit eine einzigartige immersive Erfahrung erzeugen. Die Positionsbeziehung zwischen ZuhörerIn, Schallquellen und den Raumgrenzen erzeugen akustische Anhaltspunkte, welche einen bestimmten Eindruck von Raum vermitteln. Durch die Manipulationsmöglichkeiten im Zuge digitaler Positionssteuerung von Quellen und beliebiger Effektierung durch beispielsweise Nachhall, ist es möglich RezipientInnen auf diesem Wege in eine Klanglandschaft einzuhüllen (Roginska & Geluso, 2018).

Da unsere alltägliche Hörumgebung dreidimensional vorhanden ist, nehmen wir Schall naturgemäß in drei Dimensionen wahr (Roginska & Geluso, 2018). Im Gegensatz zu visueller Wahrnehmung ist es uns bei akustischer Wahrnehmung nicht möglich „wegzusehen“, wodurch das Ohr an jeder Wahrnehmung beteiligt ist. Durch diese Omnipräsenz des Hörens sind wir in nahezu jeder Situation gezwungen zu Hören. Das akustische System ist in der Lage sämtliche Klänge und Geräusche einer Situation in einem Schallfeld wahrzunehmen und zu analysieren (Raffaseder, 2010). Durch die Verwendung von Technologie kann unsere natürliche Klangumgebung aufgenommen, gespeichert, manipuliert und wiedergegeben werden. Auf diesem Wege kann so einerseits versucht werden, realistische Szenarien möglichst originalgetreu zu Reproduzieren oder abstrakte Klanglandschaften zu erschaffen, welche eine virtuelle Realität erschaffen (Roginska & Geluso, 2018). Um dies auf effiziente Weise zu bewerkstelligen sind verschiedene Ansätze und Techniken vorhanden, welche eine bestmögliche Realisation anstreben.

Wenn in dieser Arbeit der Begriff „3D-Audio“ verwendet wird, ist der Begriff als Sammelbegriff von Produktions- und Beschallungskonzepten gemeint. 3D-Audio kann als solches nicht genau definiert werden da es verschiedene Konzepte und Verfahren umfasst. So kann damit beispielsweise eine binaurale Aufnahme welche über Kopfhörer wiedergegeben wird gemeint sein, aber auch die Wiedergabe in einem Mehrkanallaussprechersystem mit einer bestimmten Lautsprecheranordnung. Vorläufer dieser Verfahren kamen schon relativ früh auf und führten so zu verschiedenen Konzepten und Ansätzen um 3D-Audio zu realisieren. Im Folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Verfahren und Techniken gegeben welche als 3D-Audio kategorisiert werden können. Eine grundlegende Definition für diese Arbeit würde daher wie folgt formuliert werden können:

„Eine Beschallung durch Signale aus allen drei räumlichen Ebenen, mit dem Ziel der Klangumhüllung, welche sich verschiedener Techniken und Konzepte bedient um diese zu erreichen“

4 Unterscheidung der Konzepte und Systeme

Im Allgemeinen zielen elektroakustische Wandler darauf ab, eine möglichst realitätsnahe Reproduktion eines Klangereignisses zu erreichen. Dennoch gibt es auch kreativ-künstlerische Ansätze, die sich unter abweichenden Gesichtspunkten mit elektroakustischen Wandlern auseinandersetzen (Licht, 2007; Sharma & Schultz, 2017; van Eck, 2017). Wird ein Klangereignis mithilfe eines Mikrofons aufgezeichnet und über einen Lautsprecher wiedergegeben, wird der Höreindruck durch grundlegende Parameter wie relative Lautstärke, Timbre und Reflexionen gebildet. Bei einer Stereowiedergabe über zwei Lautsprecher ist durch die Bildung von Ohrdifferenzsignalen eine bessere Analyse des räumlichen Eindrucks möglich. Bei diesen beiden Fällen ist die Beschallung auf die Verteilung in einer Ebene limitiert. Im Falle von verschiedenen Surround-Konfigurationen (5.1, 7.1, 9.1 etc.) wird die Lautsprecherpositionierung um eine zweite Ebene erweitert. Diese Systeme sind im Allgemeinen kanalbasiert (siehe Kapitel 4.2.1) und setzen Wissen über die Lautsprecherpositionen und deren Relation zu dem Zuhörer in der Wiedergabesituation voraus. Im Gegensatz dazu, bewegen sich Verfahren wie Wellenfeldsynthese (siehe Kapitel 4.3.1), weg von einem kanalbasierten Ansatz und versuchen mit einer Vielzahl von Lautsprechern eine akustische Wellenfront so wiederzugeben, wie sie in einer natürlichen Hörumgebung auftritt bzw. auftreten würde. Durch eine Erweiterung von zusätzlichen Höhen- bzw. Bodenkanälen kann die dritte Raumdimension erschlossen werden, was zu einem immersiveren Klangerlebnis und einer besseren Ortung führen kann (Kim, 2018; Roginska & Geluso, 2018). Grundlegend kann der Einsatz von 3D-Audio auf einige zentrale Ziele zurückgeführt werden (Wittek, 2015):

- Verbesserung der räumlichen Wiedergabe
- Steigerung der Übertragung von im Audiosignal enthaltenen Rauminformationen
- Erhöhung der Natürlichkeit einer Klangszene, Annäherung zwischen virtueller und realer Welt
- Erstellung einer erlebbaren virtuellen Klangrealität

4.1 Räumliche Tonübertragung

Bei der räumlichen Tonübertragung kommen Prozesse zu tragen, welche die ursprünglichen raumspezifischen Attribute einer Schallquelle entweder ergänzen oder ersetzen. Begrenzt werden die Möglichkeiten der Manipulation nur durch die Vorstellungskraft und die vorhandene Technologie. Die grundlegenden Produktionsziele welche für einen Zuhörer erstellt werden können, gliedern sich nach Bergault (1994) in vier Szenarien:

1. **Nachbildung:** Es wird versucht die räumliche Beschaffenheit einer existierenden Hörumgebung nachzubilden. Dies kann zum Beispiel durch die Aufnahme einer Schallquelle in einem relativ reflexionsarmen Raum geschehen. Die so aufgezeichnete Schallquelle kann in eine bekannte akustische Umgebung platziert werden (z.B.: Kirche, Konzertsaal). Hierbei lassen sich die Parameter so kontrollieren, dass der Ereignisort und der Wahrnehmungsort in der Umgebung nahezu jeden Punkt einnehmen kann.
2. **Gestaltung:** Die Erstellung und das Design einer völlig neuartigen und in Realität nicht existenten Klangumgebung. Es besteht auch die Möglichkeit physikalische Eigenschaften von uns bekannten Objekten zu verändern (z.B.: Vergrößerung des akustischen Eindrucks der physikalischen Größe, z.B.: einer Fliege).
3. **Umwandlung:** Der Übergang oder die Kombination von zwei akustisch unterschiedlichen Szenarien. So kann beispielsweise eine Schallquelle dessen akustisches Umfeld ein Badezimmer ist, in einem Fußballstadion platziert werden. Auch ist es möglich einen Übergang zu gestalten, und so den Effekt einer Hörumgebungsveränderung zu erreichen (Schallquelle geht von einer Hörumgebung flüssig in eine andere über).
4. **Repräsentation:** Durch die Darstellung einer virtuellen akustischen Welt kann beispielsweise versucht werden in die Hörposition eines anderen Individuums zu wechseln. So kann unter anderem mittels Kopfhörerwiedergabe erlebt werden, welche Hörumgebungen z.B.: Musiker erleben während sie ein Konzert spielen.

Theile (2004) führt aus, dass bei einer elektroakustischen Tonwiedergabe der räumlichen Eigenschaften von Schallquellen, zwischen drei Ansätzen unterschieden werden kann. Sie alle haben das Ziel gemein, Schallquellen bezüglich ihrer Richtung, Entfernung und Ausdehnung im Raum darzustellen und die umliegende akustische Umgebung abzubilden:

I. Binaurale Reproduktion der Ohrsignale

Wiedergabe der Ohrsignale welche mittels Kunstkopfverfahren oder in den Ohren eines Zuhörers aufgenommen wurden.

II. Lautsprecher-Stereofonie

Wiedergabe von Mikrofonsignalen aus der Aufnahmeumgebung durch Lautsprecher.

III. Synthese des umliegenden Schallfelds bei der Wiedergabe

Resynthese eines Schallfeldes nach korrektem physikalischen Modell.

Demnach lassen sich alle bekannten räumlichen Tonübertragungs- bzw. Wiedergabeverfahren auf diese Unterscheidungen zurückführen oder stellen Mischformen dar. Neben der reinen Informationsvermittlung, folgt die Übertragung von Klangereignissen auch ästhetischen Richtlinien und künstlerischen Intentionen. Die klangliche Darstellung ist deshalb nicht auf die rein handwerklich korrekte Klangproduktion limitiert, sondern besitzt auch das Potential für die Schaffung von künstlerischen Produktionen und hörbaren Kunstwerken (Theile u. a., 2014).

4.2 Räumliche Schallreproduktionsmodelle

Bei der Schallreproduktion von räumlichen Informationen kann grundlegend zwischen den folgenden Modellen unterschieden werden:

- Kanalbasiert – Basis: Psychoakustik
- Objektbasiert – Basis: Metadaten
- Szenenbasiert – Basis: Physik
- Mischformen – Basis: Kombination von Ansätzen

Diese Modelle ergeben sich aus den zugrundeliegenden Ansätzen was die Übertragung und Wiedergabe von Schall betrifft. Dabei stellt keines dieser Modelle ein Optimum dar. Vielmehr legen sie den Fokus auf verschiedene Gesichtspunkte und besitzen somit unterschiedliche Vor- und Nachteile bezüglich Arbeitsaufwand, Flexibilität und Wiedergabequalität. Im Folgenden werden die Modelle näher aufgeschlüsselt. Die Wahl des Reproduktionsmodells bzw. der im Anschluss erläuterten Wiedergabephilosophie steht in Wechselwirkung zu verschiedenen Faktoren und hängt in vielen Fällen des

Weiteren davon ab, welchem Ziel das Endprodukt folgt und für welchen Zweck es erstellt werden soll.

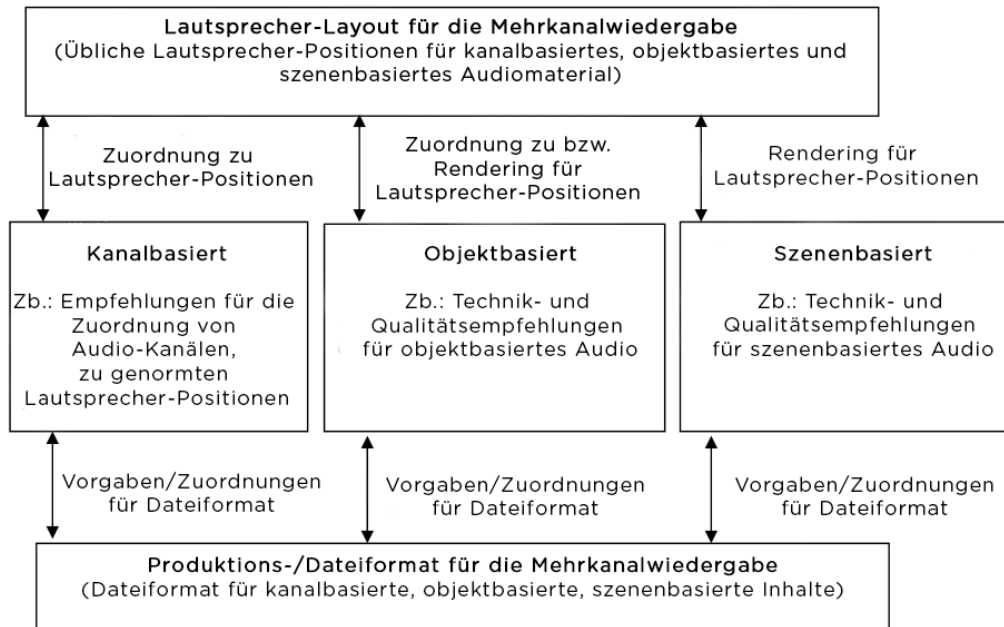


Abbildung 7: Grafische Darstellung der Reproduktionsmodelle (Übersetzt durch den Autor auf Basis von ITU, 2013)

4.2.1 Kanalbasiert

Bei einem kanalbasierten Ansatz ist für jeden Lautsprecher eine Abfolge von klar definierten Signalen bzw. Audiosamples vorhanden. Hierdurch ergibt sich als Endprodukt eine endliche Anzahl an Audiokanälen, welche für ein bestimmtes Lautsprecher-Layout vorgesehen sind und auch nur in diesem ein effizientes Ergebnis erzielt. Die Vorteile die durch diesen Ansatz gegeben sind der bereits bekannte Workflow, etablierte Tools, die Einfachheit von Rendering und Monitoring und die Möglichkeit, viele Audio-Events in einer geringen Anzahl von Kanälen zu speichern (Kalker u. a., 2014). Jeder Kanal entspricht einer bestimmten Lautsprecherposition. Die Produktionsvorgänge, der File-Transfer und die Reproduktion werden durch eine bestimmte Anzahl von spezifischen Lautsprecherpositionen definiert (zB.: NHK 22.2) (ITU, 2013).

4.2.2 Objektbasiert

Als „Objekt“ wird ein Audiosignal mit beliebiger Länge bezeichnet, das mit Metadaten versehen wird, welche beschreiben wie das Objekt in einem Schallfeld reproduziert wird. Die Metadaten bestimmen beispielsweise wo das Objekt im Schallfeld positioniert wird, welche räumliche Ausdehnung es in diesem haben soll und welche Bewegungen es bezogen auf die Zeit vornimmt. Bei einem objektbasierten Ansatz handelt es sich also um eine Zahl von Audio-

Objekten, welche die nötigen Informationen beinhalten um das geplante Schallfeld zu generieren. Dieser Ansatz bringt eine erhöhte Rechenleistung mit sich, da bei objektbasierten Verfahren die Verteilung der Objekte im Schallfeld in Echtzeit mithilfe eines Renderers geschieht (zB.: DTS:X) (Kalker u. a., 2014). Um die Aufteilung in einem Raum realisieren zu können, werden je nach vorhandenem Lautsprechersystem verschiedene Algorithmen (zB.: Amplitudenpanning, Wellenfeldsynthese) verwendet (ITU, 2013). Die Vorteile die objektbasierte Verfahren im Gegensatz zu kanalbasierten mit sich bringen, sind eine höhere räumliche Auflösung und flexiblere Skalierbarkeit in Bezug auf die Wiedergabesituation. Zusätzlich kann dem Konsumenten bei Bedarf die Freiheit gegeben werden, Objekte selbst zu kontrollieren und so die Hörerfahrung seinen Präferenzen anzupassen (Tsingos, Roginska, & Geluso, 2018).

4.2.3 Szenenbasiert

Bei einem szenenbasierten Ansatz wird versucht ein Schallfeld in seiner Gesamtheit zu erfassen bzw. wiederzugeben (Boren, 2018). Das Signal wird aus einer Zusammensetzung von Audiosignalen repräsentiert. Diese werden dekodiert um eine bestimmte Anzahl an Lautsprechersignalen zu erhalten. Auch wenn es einige Einschränkungen bezüglich Lautsprecheranzahl und -positionierung gibt, sind die Signale unabhängig von den Lautsprecherpositionen was diesen Ansatz vergleichsweise relativ flexibel macht (ITU, 2013). Ein Beispiel hierfür ist Ambisonics, bei dem versucht wird, das eintreffende Schallfeld um einen Zuhörer zu reproduzieren (Boren, 2018).

4.2.4 Mischformen

Neben Systemen die allein auf einem dieser Modelle basieren, sind Mischformen vorhanden welche unterschiedliche Modelle kombinieren, um zu versuchen die jeweils positiven Aspekte zu maximieren und gleichzeitig die Nachteile bestmöglich zu umgehen. Beispiele hierfür sind unter anderem, AuroMax® (siehe Kapitel 4.4.2.1) und Dolby Atmos (siehe Kapitel 4.4.3).

4.3 Technische Konzepte

Neben dem Reproduktionsmodell kann bei immersive Audio zusätzlich noch unterschieden werden, mit Hilfe welcher Technik die Audiosignale verräumlicht werden. Grob kann dabei, neben dem Spezialfall der Binauralwiedergabe, zwischen Amplitudenpanning und Schallfeldrekonstruktion unterschieden werden. Während die Anwendung von Amplitudenpanning vor allem auf dem Prinzip der Summenlokalisierung beruht, wird bei der Schallfeldrekonstruktion versucht, die physikalisch richtige Schallfeldzusammensetzung nachzuahmen und die Ausbreitungseigenheiten von akustischen Wellen zu berücksichtigen.

4.3.1 Wellenfeldsynthese (WFS)

Die Wellenfeldsynthese (engl. Wave field synthesis), manchmal auch als „akustische Holografie“ oder „Hologonie“ bezeichnet, wurde in der zweiten Hälfte der 1980er Jahren an der technischen Universität Delft entwickelt (Görne, 2011). Ihr Ziel ist eine physikalisch korrekte Resynthese eines räumlichen Schallfelds, basierend auf Interferenzen einer Vielzahl, dicht zueinander positionierten Lautsprechern (Slavik & Weinzierl, 2008). Technisch basiert sie auf dem Huygens'schen Prinzip (siehe Abb. 8), welches besagt, dass komplexe Wellenformen in elementare Kugelwellen zerlegt werden können. Nach Christiaan Huygens (1629-1695) muss jede gegebene Welle als Überlagerung anderer Wellen aufgefasst werden können, da die Überlagerung mehrerer Wellenfelder ein neues Wellenfeld ergibt (Superpositionsprinzip) (Theile u. a., 2014).

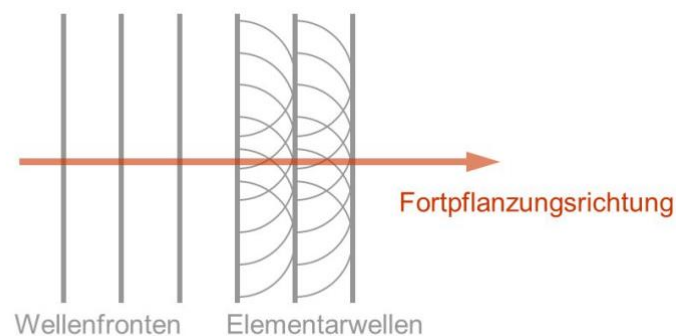


Abbildung 8: Huygens'sches Prinzip (Boehmer, 2017)

Werden anstelle von Elementarwellen reale Schallstrahler eingesetzt, kann so theoretisch ein beliebiges Schallfeld im Raum generiert werden.

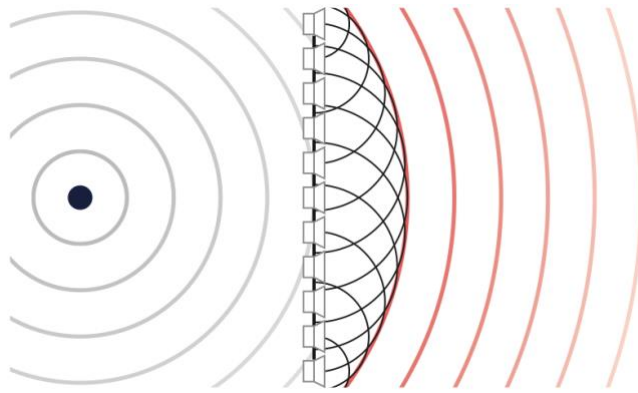


Abbildung 9: Resynthese einer Wellenfront durch Einsatz realer Schallstrahler (KVR Audio, Inc., 2014)

Dies wird realisiert, indem eine große Anzahl von Lautsprechern als horizontales Line Array an den Wänden eines Hörraums angebracht wird. Durch den kleinen Lautsprecherabstand bei WFS-Systemen ist theoretisch eine Synthese eines fehlerfreien Schallfelds möglich, bei dem die Richtungsartung nicht auf einen Sweet Spot limitiert ist, sondern im ganzen Raum ermöglicht wird. In der Praxis beschränkt sich dies meist auf eine erweiterte „Sweet Area“. Der größte praktische Unterschied zu herkömmlicher Mehrkanal-Wiedergabe, liegt in der Möglichkeit Schallquellen zu positionieren. Während bei Mehrkanalstereofonie die Schallquellen als Phantomschallquellen zwischen zwei benachbarten Lautsprechern verortet werden, wird bei WFS ein akustischer Raum mit virtuellen Schallquellen erzeugt. Diese virtuellen Quellen haben im Grunde genommen die gleichen Eigenschaften wie reale Schallquellen und lassen sich überall innerhalb der Hörzone ortsstabil und realistisch positionieren. Die Positionierung beschränkt sich bei dem Einsatz von WFS nicht auf die Ebene zwischen den Lautsprechern, sondern ermöglicht auch eine Platzierung hinter den Lautsprechern. So ist es möglich Schallquellen durch die Hörzone zu bewegen. In manchen Systemen ist es sogar möglich Schallquellen zu umwandern (Theile u. a., 2014). In der Praxis beschränkt sich die Wellenfeldsynthese meist auf die Horizontalebene (siehe Abb. 10).

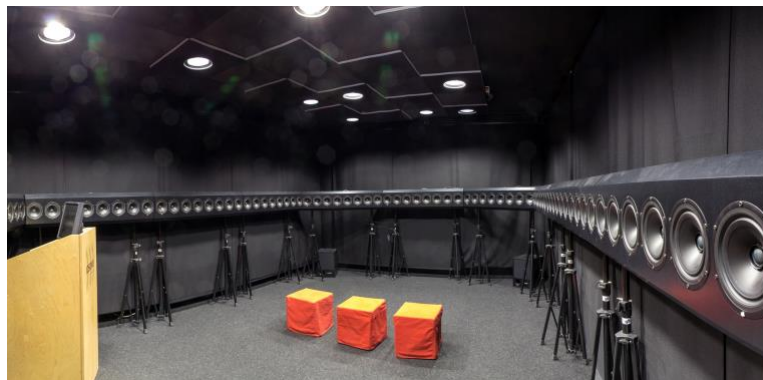


Abbildung 10: Beispiel eines WFS-Systems (Kvart & Bøllge, Inc., 2015)

Für eine 3D-Wiedergabe ist es nötig die Höhenkomponente durch weitere Lausprecher in der Vertikalebene zu erweitern und so ein 3D WFS-System zu generieren. Während Signale nahe der Horizontalebene ausschließlich durch WFS dargestellt werden, kommt bei der Reproduktion von Höhsignalen oft eine Mischung aus WFS und VBAP zum Einsatz. Zusätzlich gilt es bei der Synthese eines Schallfeldes auf den Wiedergaberaum zu achten. Wandreflexionen können die Wirkung von WFS stark beeinträchtigen und müssen bei der Erstellung von WFS-Signalen berücksichtigt werden. Die einfachste Lösung ist es den Raum akustisch so zu behandeln, dass die Reflexionen von Wänden und Decke minimiert werden (Sporer, Brandenburg, Brix, & Sladeczek, 2018).

Bei einer Anwendung von WFS werden in akustisch trockenen Umgebungen aufgezeichnete oder synthetisierte Schallquellen mit mehrkanaligen Raumimpulsantworten gefaltet. Die Impulsantworten können dabei mit Hilfe von Mikrofonarrays aufgenommen werden, oder synthetisiert werden. Für die vorhandene Wiedergabesituation wird ein WFS-Signal berechnet und gerendert, welches in Abhängigkeit zur Anzahl und Positionierung der Lautsprecher steht. Durch die Möglichkeit virtuelle Lautsprecher zu generieren sind WFS-Systeme kompatibel zu Stereo- und Surround-Verfahren. Die Anwendungen reichen von Klangkunst, über Film-Ton, bis hin zur Realisierung von variabler Akustik in Konzertsälen (Görne, 2011).

4.3.2 Amplitude Panning

Auch wenn bereits zahlreiche unterschiedliche Theorien vorhanden sind welche auf Amplitudenpanning aufbauen, werden in dieser Arbeit nur die zwei verbreitetsten Ansätze behandelt.

4.3.2.1 VBAP

Vector Base Amplitude Panning ist ein von Pulkki (1997) eingeführtes Verfahren zur Positionierung von Schallquellen. Es stellt die mathematische Formalisierung des traditionellen Panorama-Reglers dar. Im Zuge dieses Verfahrens werden die Signalpegel für benachbarte Lautsprecherpaare bzw. Lautsprechertripel mathematisch errechnet. Dies geschieht in Abhängigkeit zur gewünschten Abbildungsrichtung der Schallquellen, für beliebig angeordnete Lautsprecherkonfigurationen. Die hierdurch erzeugten Phantomschallquellen beruhen auf dem Phänomen der Summenlokalisation (Slavik & Weinzierl, 2008). Das Ziel von VBAP ist es ein virtuelles Klangpositionierungssystem zu liefern welches unabhängig von der Lautsprecheranordnung agiert und die maximale Abbildungsgenauigkeit liefert. Bei einem Einsatz sollten sich im Idealfall alle Lautsprecher im gleichen Abstand zur idealen Abhörposition befinden. Der Raum sollte außerdem eine geringe Nachhallzeit besitzen. So ist es möglich eine

Vielzahl von statischen und/oder bewegten Klängen, in jeder Richtung des von den Lautsprechern aufgespannten Klangraumes zu positionieren. Durch den Einsatz von Vektoren und Vektorbasen wird das traditionelle Amplitudenpanning neu formalisiert und so weniger rechenaufwendig. Durch den Einsatz für dreidimensionales Panning, können so virtuelle Schallquellen auf der dreieckigen Fläche zwischen drei Lautsprechern positioniert werden, welche alle dasselbe Signal abstrahlen (Pulkki, 1997).

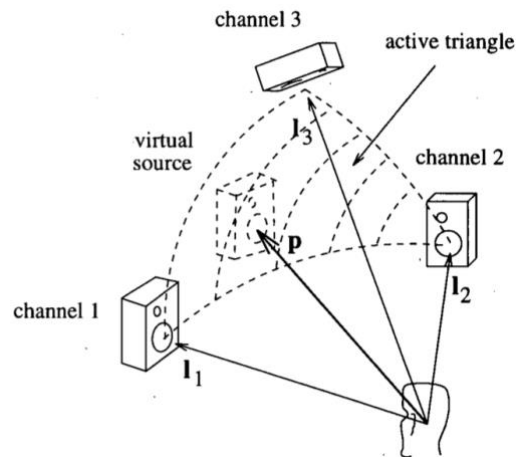


Abbildung 11: Grafische Darstellung des VBAP-Verfahrens (Pulkki, 1997)

Die genaue Position der virtuellen Quelle welche vom Zuhörer wahrgenommen wird, entsteht dabei durch die Relation der Lautstärkeunterschiede zwischen den drei Lautsprechern. So ist es möglich Schallquellen auf einer den Zuhörer umgebenden Kugel zu platzieren, dessen Radius durch den Lautsprecherabstand zum/zur ZuhörerIn definiert ist. Mathematisch betrachtet ist zeigen, ausgehen aus dem Ursprung (der Hörposition), Einheitsvektoren in die Richtung der Lautsprecher. Jener Einheitsvektor welcher die Richtung der positionierten Quelle anzeigt, entsteht rechnerisch aus der Kombination der drei umliegenden Lautsprechervektoren. Je mehr Lautsprecher in einem solchen System vorhanden sind, desto kleiner sind die aufgespannten Dreiecke und somit auch die Fehleranfälligkeit. Zusätzlich werden auch die Restriktionen bezüglich der Lautsprecherpositionierung geringer. Im Gegensatz zu Ambisonics, strahlen bei VBAP nur jene Lautsprecher ein Signal ab, welche mindestens für die Quellortung benötigt werden (Pulkki, 1997).

4.3.2.2 DBAP

Distance-based amplitude panning ist eine alternative Panning-Methode, bei welcher die Lautsprecheraufstellung und die Position des Zuhörers zunehmend außer Acht gelassen werden können. Dabei ist sie wie VBAP eine matrixbasierte Spatialisierungstechnik, welche vorhandene Lautsprecherpositionen verwendet. Dies macht diese Technik für Situationen nützlich, in denen keine standardisierten oder ideal geometrischen Lautsprecherlayouts verfügbar sind. Dabei wird das gängige Stereo-Panning zwischen zwei Lautsprechern, auf ein Lautsprecherarray mit beliebig vielen Lautsprechern ausgeweitet. Da die Lautsprecherpositionen bekannt sind, besitzt jede Quelle einen definierten Abstand zu allen im System vorhandenen Lautsprechern. Anders als bei VBAP wird angenommen, dass bei DBAP alle Lautsprecher zu jederzeit aktiv sind. Die Position der virtuellen Quelle wird dabei in Relation zu den jeweiligen Lautsprecherpositionen gesetzt. Der Lautsprecher, welcher der Quelle am nächsten ist, besitzt dabei die höchste Amplitude. Die Faktoren der restlichen Lautsprecher werden mithilfe der physikalischen Pegelabnahme von 6dB pro Entfernungsverdopplung im Freifeld berechnet. Stimmt die Quellposition mit einer Lautsprecherposition überein, strahlt nur dieser Lautsprecher ein Signal ab. Positionierungen außerhalb des Lautsprecherfelds sind nicht möglich. Befindet sich eine Quelle außerhalb, wird sie an dem Punkt der aufgespannten Fläche wiedergegeben, welche dem Punkt am nächsten ist. Je näher die positionierte Quelle zum Mittelpunkt der Wiedergabeumgebung ist, desto kleiner wird der Lautstärkeunterschied zwischen allen Lautsprechern. Dies ist darauf zurückzuführen, da sich die Abstände zu allen Lautsprechern einem annähernd gleichen Abstandswert annähern und somit sehr ähnliche Lautstärkekoeffizienten besitzen (Lossius, Baltazar, & de la Hogue, 2009).

4.3.3 Binauraltechnik

Die Basis für Binauraltechnik liefert das Kunstkopfverfahren, welches den Zweck hat, die Ohrsignale eines Zuhörers am Aufnahmeort aufzuzeichnen. Die Aufnahmen entstehen oft mittels eines künstlichen, anatomisch durchschnittlichen Kopfmodells mit Mikrofonen in den Ohrkanälen. Die so gewonnenen Aufnahmen, werden über Kopfhörer wiedergegeben und stimmen im Idealfall mit den individuellen Ohrsignalen der HörerInnen überein. Trifft dies zu, nehmen ZuhörerInnen die Position des künstlichen Kopfes zur Zeit der Aufnahme ein und das Hörereignis im Kopfhörer entspricht zu weiten Teilen dem realen Schallereignis der Aufnahmesituation (Theile u. a., 2014).



Abbildung 12: Kunstkopf zur Aufnahme von Binauralsignalen (HEAD acoustics GmbH, 2017)

Die Reproduktion muss sehr genau erfolgen und dem Ohr der ZuhörerInnen so gut als möglich entsprechen. Schon kleine Unterschiede zwischen dem Außenohr der ZuhörerInnen und dem des Kunstkopfes, machen sich durch Artefakte und andere Klangbeeinträchtigungen bemerkbar. In einer idealen und möglichst realitätsnahen Wiedergabesituation, müssten die Ohrsignale auch an die momentane Kopfhaltung der RezipientInnen angepasst werden um eine korrekte Lokalisierung in der Medianebene zu gewährleisten (Theile u. a., 2014). Für eine verbesserte Wiedergabe ist es möglich das Signal neben individuellen HRTFs (siehe Kapitel 2.1.1), auch mit BRIRs (Binaural room impulse responses) gefaltet werden. Im Unterschied zu HRTFs, welche in reflexionsarmen Räumen aufgezeichnet werden, sind BRIRs kopfbezogene Impulsantworten eines bestimmten Raumes welche das spezifische Reflexionsmuster des Raumes beinhalten. Hier gilt es zu erwähnen, dass durch jede Faltung auch der Rechenaufwand steigt (Slavik & Weinzierl, 2008). Eine weitere Einschränkung dieser Technik stellt die Wiedergabebeschränkung auf Kopfhörer dar. Es ist zwar durch Filterung möglich binaurale Signale auf Lautsprechern wiederzugeben, dies ist aber mit Ungenauigkeiten und der Einschränkung der Hörzone, auf wenige Zentimeter verbunden. Zusätzlich ist die künstlerische Gestaltung des Klangbilds limitierter als bei anderen Verfahren (Theile u. a., 2014).

4.3.4 Ambisonics

Unter Ambisonics wird ein mehrkanaliges szenenbasiertes Aufnahme- und Wiedergabeverfahren für variable Lautsprecheranordnungen verstanden. Es wurde in den 1970er Jahren von Michael Gerzon und Peter Fellgett, aufbauend auf früheren Theorien eingeführt. Die zu Grunde liegende Überlegung beruht darauf, nicht eine bestimmte Anzahl an Kanälen aufzuzeichnen und direkt zu reproduzieren (siehe Kapitel 4.2.1), sondern mit einer gewissen Anzahl an Kanälen eine gesamte akustische Szene zu beschreiben. Diese Arbeitsweise macht eine Aufnahme/Produktion möglich, bei welcher nahezu keine Rücksicht auf die Lautsprecheranordnung der Wiedergabesituation genommen werden muss. Ziel dieser Herangehensweise ist die unverfälschte und stabile Wiedergabe der Richtungsinformationen von akustischen Quellen an jeder räumlichen Position, unter Beibehaltung ihrer physikalischen Eigenschaften (Fellgett, 1975). Das vorgestellte System sollte, anders als die Stereofonie (Positionierung zwischen zwei Lautsprechern), alle Raumrichtungen gleichberechtigt behandeln und somit horizontale und vertikale Klangquellen mit gleichbleibender Richtungsauflösung repräsentieren. Gerzon (1973) vertrat die Meinung, dies sei am besten durch die Aufzeichnung von Schalldruckwerten aller Raumrichtungen, auf der Oberfläche einer Kugel möglich. Aus dieser Überlegung heraus stellte er später die Ambisonics-Technologie (First Order) vor, welche als vierkanaliges System laut eigenen Angaben eine komplette „sphärische Portraitierung von Richtung“ liefern konnte während gleichzeitig mit Mono-/Stereo- und Quadrophonie-Systemen kompatibel zu sein (Nicol, 2018).

Die Anzahl der benötigten Kanäle wird bei dem Ambisonics-Ansatz durch die Ordnungszahl bestimmt. Die erreichte Auflösung des Schallfelds steht dabei in direktem Zusammenhang mit der verwendeten Ordnung, da mit steigender Kanalanzahl zwar die Abbildungsschärfe steigt, zeitgleich jedoch auch der damit verbundene Aufwand. Die benötigte Kanalanzahl K für eine bestimmte Ambisonics-Ordnung N ergibt sich dabei aus folgender Formel:

$$K = (N + 1)^2 \quad (1)$$

Zusammen mit der Theorie bezüglich der Schallfeldabtastung auf einer kugelsymmetrischen Oberfläche nach Gerzon (1975), wurde das SoundField-Mikrofon zur Aufnahme von Ambisonics-Signalen erster Ordnung vorgestellt an dessen Entwicklung Gerzon beteiligt war. Es handelt sich dabei um ein kompaktes Mikrofonsystem, welches als Erweiterung des MS-Verfahrens auf drei Raumdimensionen gesehen werden kann. Das sphärische Mikrofonsystem

(siehe Abb. 13), welches aus vier Nieren-Kapseln in Richtung der Flächen eines Tetraeders besteht, zeichnet die Kapselsignale *LFU* (Left-Front-Up), *LBD* (Left-Back-Down), *RFD* (Right-Front-Down) und *RBU* (Right-Back-Up) auf (Weinzierl, 2008).

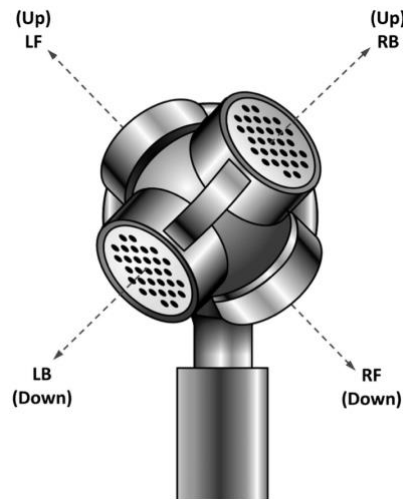


Abbildung 13: Sphärisches Mikrofonarray mit tetraedrisch angeordneten Mikrofonkapseln (Nicol, 2018)

Dieses Aufnahmeformat wird A-Format™ genannt und kann in das B-Format™ umgewandelt werden, welches für die weitere Bearbeitung und die spätere Wiedergabe über Lautsprecher benötigt wird. Das B-Format™ für Ambisonics der 1. Ordnung besteht aus dem omnidirektionalen Druckanteil *W* und den drei Gradientenanteilen *X, Y, Z* der korrespondierenden Raumrichtungen. Die räumliche Abtastung der drei Koordinatenachsen wird dabei durch Mikrofone mit Achter-Charakteristik (vorne-hinten, links-rechts, oben-unten) erhalten, wobei diese „virtuellen“ Charakteristika durch Summen- und Differenzbildung der an den Nierenkapseln anliegenden Signalwerten gebildet werden (Weinzierl, 2008). Idealerweise sollten die vier Mikrofonkapseln alle im Ursprung des Koordinatensystems platziert werden. Da sich dies in der Praxis nicht realisieren lässt, resultiert die Umsetzung in der geometrischen Bauform und der Verwendung von Filtern. Für die Bildung des B-Formats™ gilt:

$$\begin{aligned}
 W &= LFU + LBD + RFD + RBU \\
 X &= LFU - LBD + RFD - RBU \\
 Y &= LFU + LBD - RFD - RBU \\
 Z &= LFU - LBD - RFD + RBU
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Da sich die so erhaltenen virtuellen Mikrofone theoretisch in einem Punkt überlagern, ist es möglich die Schallenergieverteilung, auf einer sie umgebenden Kugelfläche für die drei Raumdimensionen zu erhalten. Das omnidirektionale W-Signal dient dabei als Referenzsignal und gibt mittels Polarität, Auskunft über die Richtung des eintreffenden Schalls (Nettingsmeier, 2010).

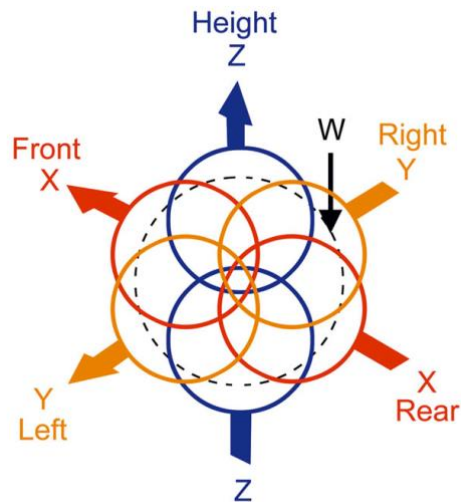


Abbildung 14: Komponenten des B-FormatesTM (Virostek & Marchant, 2015)

Die Idee von Ambisonics-Mikrofonsystemen wird aktuell durch den gesteigerten Einsatz in VR-Anwendungen und 360°-Videos, von Firmen wie Sennheiser, Zoom und RØDE aufgegriffen.



Abbildung 15: Ambisonics-Mikrofonsysteme von links nach rechts; Sennheiser Ambeo VR Mic, Zoom H3-VR, RØDE NT-SF1 (RØDE Microphones, 2018; Sennheiser, 2018; Zoom North America, 2018)

Neben der Übertragung von zwei- und dreidimensionale Schallfeldern können, dem mathematischen Theorem folgend, auch virtuelle Klangquellen synthetisiert werden. Dies ist in der Theorie, wiedergabeseitig durch den Einsatz von unendlich vielen Lautsprechern, mit uneingeschränkter Genauigkeit möglich. In der Praxis ist der Grad der Genauigkeit, durch die Anzahl der Übertragungskanäle bei der Aufnahme bzw. die Anzahl der Lautsprecher bei der Wiedergabe beschränkt (Slavik & Weinzierl, 2008). Neben der Vielseitigkeit in Bezug auf das Ausgangsmaterial war es in der Entwicklungsphase ein weiteres Ziel, ein stabiles Format für den Studioeinsatz und Encoding-Standards für den allgemeinen Gebrauch zu entwickeln. Diese sollten dem Zweck dienen, jede räumliche Richtung eindeutig zu Kodieren zu können und den HörerInnen beim Dekodieren die Freiheit zu geben, eine Lautsprecheranordnung ihrer Wahl für die Wiedergabe zu wählen (Fellgett, 1975). Durch diesen Fokus liefert Ambisonics ein flexibles Reproduktionssystem welches nicht auf eine einzige standardisierte Lautsprecheranordnung limitiert ist, sondern beim Dekodieren mit unterschiedlichen Lautsprecheranzahlen und -positionen, sowie einem Binaural-Mixdown verwendet werden kann. Trotz dieser Freiheiten, gilt es bezüglich der Wiedergabe einige Faktoren zu beachten. Neben der Mindestlautsprecheranzahl von vier Lautsprechern für Signale erster Ordnung, stellt die regelmäßige Anordnung von Lautsprechern sowohl ein robusteres System, als auch einen einfacheren Dekodiervorgang dar. Die Regelmäßigkeit bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die geometrische Ähnlichkeit, welche die Lautsprecheranordnung im Vergleich zu einer Kugel aufweist (Nicol, 2018).

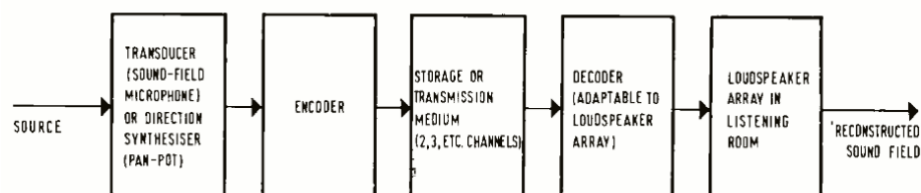


Abbildung 16: Signalpfad eines Ambisonics-Systems (Fellgett, 1975)

4.3.4.1 Sphärische Harmonische

Mathematisch betrachtet liegt die Überlegung zu Grunde, dass sich beliebige dreidimensionale Schallfeldverteilungen in eine Fourier-Bessel-Reihe entwickeln lassen. In dieser Reihe ergibt sich eine Überlagerung von mit Faktoren gewichteten Funktionen, den sphärischen Harmonischen. So lässt sich jedes Schallfeld als Überlagerung von sphärischen Harmonischen, radial gewichtet mit sphärischen Besselfunktionen $j_m(kr)$ und einem Phasenfaktor i^m darstellen. Dies ist vergleichbar mit einem periodischen Signal, welches sich aus einer Vielzahl von Sinusfunktionen unterschiedlicher Amplitude und Phasenlage zusammensetzt (Slavik & Weinzierl, 2008).

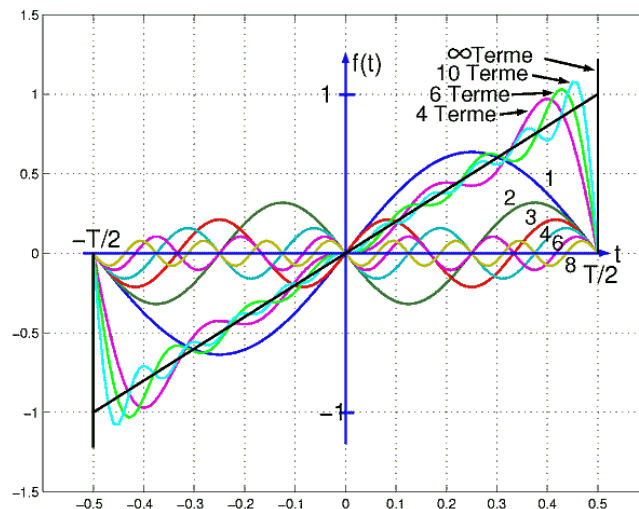


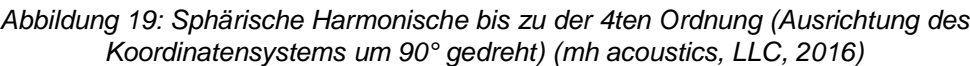
Abbildung 17: Zerlegung einer periodischen Sägezahnschwingung (schwarz) in Teilschwingungen (bunt) (Rudolph & Erb, 2014)

Bei einer Schallfeldreproduktion durch das Ambisonics-Verfahren werden die Komponenten der Fourier-Bessel-Reihe übertragen. Je höher die Anzahl der Komponenten ist welche dabei übertragen werden, desto genauer die (Re)Synthese des Schallfelds und größer der korrekt resynthetisierte Bereich. Bei einer Übertragung erster Ordnung, handelt es sich bei den Komponenten um die B-Format™ Signale W, X, Y, Z (Slavik & Weinzierl, 2008). Die Erhöhung der Komponenten folgt einer mathematischen Reihe, die auch mit dem Schwingungsverhalten einer Saite verglichen werden kann. Ähnlich wie eine idealisierte Saite nur in einer harmonischen Reihe schwingen kann (siehe Abb. 18), ist es auch einer Kugel nur möglich in bestimmten Modi zu schwingen. Die so entstehenden Schwingungsmuster (siehe Abb. 19) können als Mikrofoncharakteristika verstanden werden, die in der Lage sind, Schall bestmöglich im jeweiligen Maximum (positiv wie negativ) aufzuzeichnen. Wird diese Reihe fortgeführt, hat dies eine Steigerung der übertragenen Komponenten/Kanäle zur Folge, was in einer höheren räumlichen Auflösung resultiert (Nettingsmeier, 2010).



0. Ordnung: 1 Kanal (W)
1. Ordnung: 4 Kanäle (W, X, Y, Z)
2. Ordnung: 9 Kanäle (W, X, Y, Z, R, S, T, U, V)
3. Ordnung: 16 Kanäle (W, X, Y, Z, R, S, T, U, V, K, L, M, N, O, P, Q)

Näher betrachtet handelt es sich bereits bei nullter Ordnung, beispielsweise durch eine Aufnahme mittels omnidirektionalem Mikrofon, um die Summe aller Signale auf einer Kugeloberfläche. Dieses Signal, besitzt jedoch im Vergleich zu höheren Ordnungen noch keine verwendbaren Richtungsinformationen (Nettingsmeier, 2010).



Durch die verwendete Kanalordnung ist im Vergleich zu anderen Mehrkanalverfahren ein höherer Grad an Flexibilität gegeben. So kann beispielsweise ein Signal der 2ten Ordnung durch einfaches Weglassen der letzten fünf Kanäle (Reduktion auf Komponenten der gewünschten Ordnung), in ein Signal der ersten Ordnung überführt werden. Wird die Übertragung auf ein Minimum reduziert, bleibt nur die W-Komponente über, was einer Mono-Wiedergabe eines Ambisonics-Signal entspricht (Nettingsmeier, 2010). Da Ambisonics der ersten Ordnung als Erweiterung einer MS-Anordnung gesehen werden kann, ist es möglich die W-Komponente als Mitten- und die Y-Komponente als Seiten-Signal zu behandeln und durch das Enkodieren/Dekodieren der beiden so, relativ einfach einen Stereo-Downmix zu erhalten.

4.3.4.2 Higher-order Ambisonics (HOA)

Auch wenn die Abbildung von räumlichen Klangfeldern laut Theorie bereits ab der ersten Ordnung funktioniert, ist eine zufriedenstellende Darstellung erst ab einer gewissen räumlichen Auflösung bzw. Ordnung möglich. Mit Ambisonics der ersten Ordnung kann keine fehlerfreie Reproduktion erreicht werden. Einen Grund hierfür stellt die sich daraus ergebende Hörzone dar, welche auf eine Größe eines Tennisballs eingeschränkt ist. Generell wird deshalb zwischen Ambisonics erster Ordnung und Ambisonics höherer Ordnung (HOA) unterschieden (Nettingsmeier, 2010; Wittek & Theile, 2016).

Bei der Aufzeichnung durch Mikrofone, kann dies mit einer Erhöhung der Kapselanzahl bzw. Übertragungskanäle erreicht werden. Mit steigender Kapselanzahl wird es jedoch zunehmend schwerer die Kapseln annähernd koinzident anzuordnen, was in der Theorie eine Bedingung für die korrekte Schallfeldabtastung darstellt. In der Praxis ist die einfachste Lösung ein sphärisch angeordnetes Mikrofonarray, bei welchem durch Matrizierung der Kapselsignale und der Anwendung von Filtern die höher aufgelösten Rauminformationen erhalten werden. Durch diese Steigerung der räumlichen Genauigkeit/Auflösung vergrößert sich auch der Sweet Spot bei der Wiedergabe, was bereits kleine Kopfbewegungen ohne Verfälschungen ermöglicht. Die Größe der Hörzone (Sweet Spot) ist abhängig von der Ordnung und hängt auch mit der Frequenz des Audiomaterials zusammen. Je höher die Frequenz, desto höher ist die benötigte Ordnung, wenn die Größe der Hörzone beibehalten werden soll. Während eine Welle bei $f = 250 \text{ Hz}$ durch ein System 4ter Ordnung gut rekonstruierbar ist, würde dieselbe Welle bei $f = 1 \text{ kHz}$ eine Erhöhung auf 19te Ordnung benötigen um einen gleich großen Sweet Spot zu generieren (Nicol, 2018). Ein Mikrofonarray zur Aufnahme der 19ten Ordnung würde mindestens $(19+1)^2$ Kanäle benötigen.

Aufgrund des enormen Hardwareaufwands sind nur wenige Ambisonics-Mikrofone höherer Ordnung kommerziell erhältlich, welche analog dem technischen Aufwand auch im Preis ansteigen. Beispiele hierfür sind das *OctoMic* der Firma Core Sound (2. Ordnung) oder das *Eigenmike*® der Firma mh acoustics (4. Ordnung).

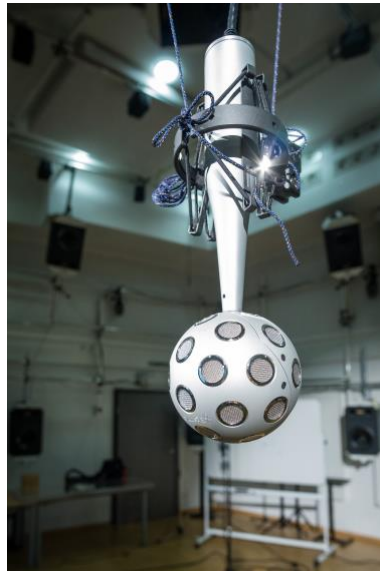


Abbildung 20: Eigenmike® der Firma mh acoustics (Fotografie durch den Autor, 2018)

Trotz der angesprochenen Schwierigkeiten stellt HOA ein universell einsetzbares und skalierbares Format dar. Die technischen Probleme welche bei der Aufzeichnung vorhanden sind, können bei Erstellung und Bearbeitung von virtuellen Quellen überwiegend ignoriert werden, was HOA als Produktionsformat sehr praktikabel macht. Die Unabhängigkeit von Aufnahme- bzw. Wiedergabeformat ermöglicht es außerdem mit höheren Ordnungen zu arbeiten, ohne dabei neue Lautsprecher signale errechnen zu müssen. Dies ist möglich, da das Dekodieren für Lautsprecher erst bei der Reproduktion geschieht. Die Skalierbarkeit ermöglicht es, bereits beginnend bei einem System 0ter Ordnung eine akustische Szene (wenn auch ohne Richtungsinformationen), ganzheitlich aufzuzeichnen. Durch konsequentes hinzufügen von Komponenten höherer Ordnungen wird die räumliche Definition des Schallfeldes zunehmend erhöht. So kann je nach Wiedergabesituation entschieden werden, wie viele Komponenten des vorhandenen Signals berücksichtigt werden müssen/sollen (Nicol, 2018).

4.3.4.3 Reproduktion

Bei der Reproduktion von Ambisonics-Signalen wird versucht das originale bzw. angestrebte Schallfeld bestmöglich durch ein Lautsprecherarray zu synthetisieren. Um dies zu erreichen, müssen aus dem Gesamtsignal die für die einzelnen Lautsprecher vorgesehenen korrekten Einzelsignale errechnet werden. Die sphärisch harmonischen Komponenten werden dabei unter Berücksichtigung der einzelnen Lautsprecherpositionen für das aktuelle Layout neu gewichtet. Dass nahezu jedes beliebige geometrische Lautsprecherarray gewählt werden kann, ist ein Vorteil der bei kanalbasierten Formaten nicht gegeben ist. Die bestmögliche Reproduktion oder einfachste Dekodierung, kann mit einem regelmäßigen Lautsprecherlayout auf einer Kugeloberfläche erreicht werden (Nicol, 2018).

Bezüglich des Dekodierens gibt es verschiedene Ansätze, welche unterschiedliche Gesichtspunkte in die Reproduktion miteinfließen lassen. Die einfache Matrizierung der Lautsprechersignale, mit Fokus auf perfekter Rekonstruktion des Schallfeldes wird als „*Basic Decoding*“ bezeichnet. Da, wie erwähnt, bei steigender Frequenz eine perfekte Reproduktion nicht mehr möglich ist, werden bei einigen Methoden die Ausbreitungsgeschwindigkeit und Schallenergieverteilung berücksichtigt, um das Signal zu optimieren. Der „*Maximum r_E* “ Ansatz legt den Fokus auf jene Lautsprecher, welche der virtuellen Quelle am nächsten sind. Im Gegensatz dazu werden beim „*In-Phase*“ Ansatz alle Lautsprecher stummgeschaltet, welche sich in der entgegengesetzten Richtung zu der virtuellen Quelle befinden. In der Praxis können sowohl unterschiedliche Ansätze als auch deren Kombinationen frequenzabhängig für das Decoder-Design verwendet werden (Nicol, 2018; Zotter & Frank, 2012).

Die Verwendung von verschiedenen Ansätzen hat auch eine Auswirkung auf die Richtungsschärfe der abgebildeten Quelle. Das „*Basic Decoding*“ ergibt die engste Hauptkeule und die stärksten Seitenkeulen. Im Gegensatz dazu unterdrückt der „*In-Phase*“ Ansatz sämtliche Seitenkeulen bei gleichzeitiger Verbreiterung der Hauptkeule. Eine Kombination der Beiden stellt die Verwendung von „*Maximum r_E* “ dar, was die Schallenergie in Richtung der virtuellen Quelle maximiert (Frank, 2014).

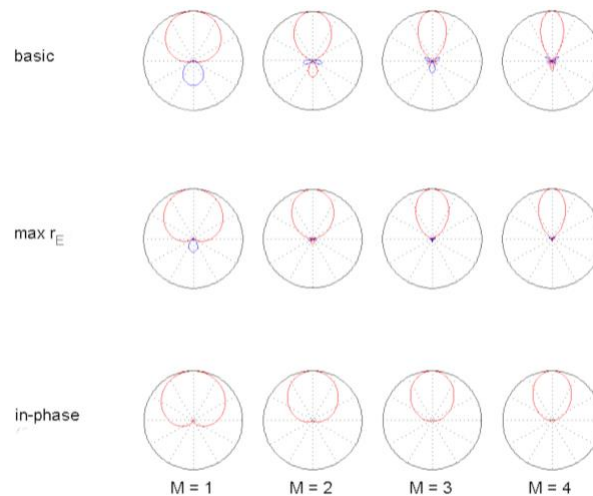


Abbildung 21: Richtungsschärfe unterschiedlicher Dekodieransätze ($M =$ Ordnungszahl)(Bates, 2009)

4.3.4.4 Normalisierungsschemata

Da mit zunehmender Ordnung die Kanalanzahl steigt, erhöht sich so durch die steigende Zahl der Audiosignale auch der allgemeine Schalldruckpegel. Um dem entgegenzuwirken und so ein Übersteuern von Signalen zu verhindern sind Normalisierungsschemata vorhanden, welche in Abhängigkeit zur Ordnungszahl den Pegel jeder Ambisonics-Komponente skalieren. Im Allgemeinen kann hier zwischen drei Normalisierungen unterschieden werden:

- **maxN**
- **N3D**
- **SN3D**

4.3.4.5 Formate

Neben dem bisher vorgestellten A- und B-Format™, ist weiters das C- und D-Format vorhanden. Bei der Übertragung und Bearbeitung des B-Formates™, muss berücksichtigt werden, dass sich zwei unterschiedliche Kanalreihenfolgen behauptet haben, welche „Classic/FuMa“ (Normalisierung: *maxN*) und „ambiX“ (Normalisierung: *SN3D*) genannt werden (SoundField, 2018).

Kanal	Komponente
1	W
2	X
3	Y
4	Z

Tabelle 1: Kanalanordnung Classic/FuMa

Kanal	Komponente
1	W
2	Y
3	Z
4	X

Tabelle 2: Kanalanordnung ambiX

Das C-Format wird oft auch als UHJ-Format bezeichnet und wurde für Rundfunk und kommerzielle Verbreitung eingeführt. Das „C“ steht für „Consumer“, wobei der Gedanke hierbei war, Signale zu liefern welche mit gängigen Mono- und Stereo-Systemen kompatibel sind. Aus dem B-Format™ werden dabei die Komponenten L,R,T und Q errechnet wobei L,R ein konventionelles Stereo-Signal liefert. Bei Bedarf kann das T-Signal für zusätzliche horizontale Auflösung und das Q-Signal für Höheninformation hinzugefügt werden. Das D-Format oder manchmal G-Format genannt, setzt sich aus den Lautsprechersignalen zusammen, welche für das jeweils vorhandene Setup durch den Decoder errechnet wurden (Nicol, 2018).

4.4 Wiedergabephilosophien

Neben den bisher vorgestellten Differenzierungsmerkmalen, kann auch zwischen den Wiedergabephilosophien unterschiedlicher Hersteller unterschieden werden. Diese bestehen meist aus einem bestimmten technischen Verräumlichungsverfahren in Kombination mit definierten Lautsprecher-Layouts. In vielen Fällen erfolgt die Produktion und Reproduktion mithilfe von proprietären Software-Tools und Hardware-Geräten. Der folgende Abschnitt setzt sich mit den am weitverbreitetsten Philosophien, deren Charakterisierung und der Verwendung im Forschungsfeld auseinander.

4.4.1 NHK 22.2

NHK 22.2 ist ein kanalbasiertes 3D-Audio System welches von NHK (Nippon Hōsō Kyōkai, eine japanische öffentlich-rechtliche Rundfunkorganisation) Science & Technical Laboratories im Zuge der Entwicklung eines neuartigen UHD-Rundfunkstandards entwickelt und 2005 vorgestellt wurde. Neben hochauflösenden Videomaterial ist zusätzlich ein 22.2 Mehrkanalsystem bei welchem Lautsprecher auch über und unter der Horizontalebene positioniert werden, Teil der Entwicklung. Der Grund für die Entscheidung Lautsprecher auch in der vertikalen Ebene zu positionieren war der Wunsch, einen hohen Grad an Realismus zu übermitteln und den räumlichen Klang dem wiedergegebenen Bild anzupassen. Das System besteht aus drei Höherebenen. Die mittlere Ebene befindet sich auf Ohrenhöhe und beinhaltet 10 Lautsprecher. Dieser wird ergänzt durch eine Höherebene mit neun Lautsprechern und einer Bodenebene mit drei Lautsprechern. Zusammen mit den zwei LFEs ergibt sich eine Gesamtanzahl von 24 Lautsprechern (Hamasaki & Hiyama, 2006).

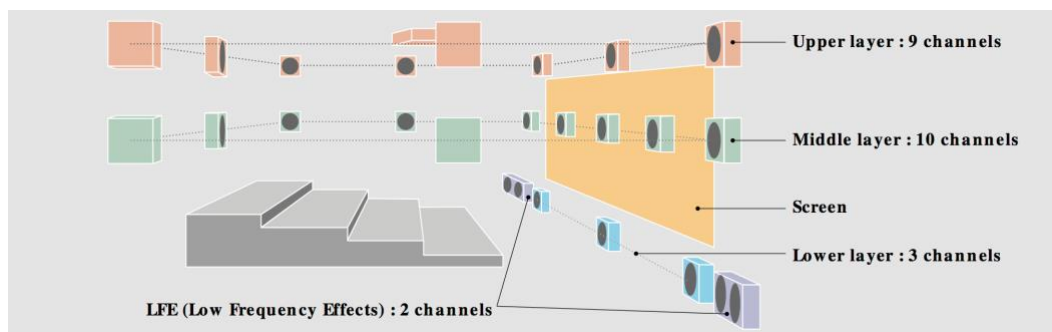


Abbildung 22: Systemdesign von NHK 22.2 (Hamasaki & Hiyama, 2006)

Durch die Anordnung des mittleren Layers ist eine Rückwärtskompatibilität zu gängigen 2D-Surround Systemen (zB.: 5.1, 7.1) gegeben. Die ideale Positionierung der Höhenlautsprecher, welche in einem Elevationswinkel von 45° entspricht, wurde durch eine Studie der NHK ermittelt. In einer weiteren Studie wurden Hörversuche bezüglich des Realitätsgrades des 22.2 Systems im

Vergleich zu anderen Wiedergabesystemen durchgeführt. Als Ausgangsmaterial diente eine Orchester-Aufnahme welche jeweils für 22.2 (ohne Bodenebene), 5.1, die mittlere Ebene mit drei Frontkanälen und die gesamte mittlere Ebene gemischt wurde. Die Hörpositionen wurden dabei im Laufe des Versuchs geändert und evaluiert. In nahezu allen Hörpositionen konnte dabei durch 22.2 eine wahrnehmbare Steigerung des erlebten Realismus erreicht werden. Ein weiterer Vorteil gegenüber 5.1 Surround, ist die Vergrößerung der Hörzone (Hamasaki & Hiyama, 2006). Das Hauptaugenmerk von NHK 22.2 liegt Großteils auf der Wiedergabe in Heimkinos und hat im Vergleich zu anderen Systemen nur eine vorgegebene Wiedergabekonfiguration.

4.4.1.1 Einsatz im Forschungsfeld

Nach ausgiebiger Recherche konnten keine konkreten Anwendungen im Bereich populärer elektronischer Musik gefunden werden.

4.4.2 Auro-3D®

Das von Wilfried Van Baelen 2006 im Umfang des Auro-3D® Konzeptes vorgestellte Auro 11.1 Format, ist eine Erweiterung von vorhandenen Surround-Konzepten durch eine Ergänzung mit zusätzlichen Höhenkanälen. Ziel des Formates ist es, die bestmögliche immersive Erfahrung mit der minimal benötigten Anzahl von Lautsprechern zu erreichen. Ausgangspunkt für diese Entwicklung war der Wunsch eine skalierbare Lösung für verschiedene Raumgrößen und -formen zu schaffen. Auro hat die Hörumgebung in drei Teile geteilt und so drei Layer definiert in welchen Lautsprecher platziert werden können.

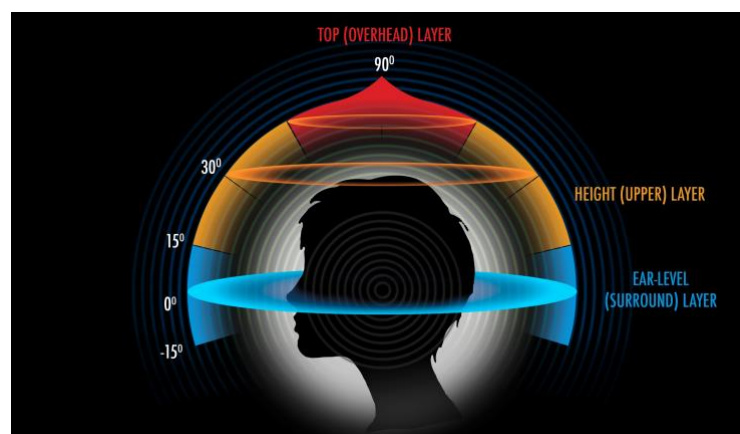


Abbildung 23: Layerkonzept von Auro-3D® (Auro Technologies & Schwartz Public Relations, 2016)

Der erste Layer befindet sich auf Ohrenhöhe und beinhaltet Lautsprecherpositionen aus gängigen Surround-Anordnungen. Der zweite Layer befindet sich in einem Höhenwinkel von 30° . Schlussendlich stellt der Über-Kopf-Layer in 90° die dritte Unterteilung dar. Während bis zu einer Lautsprecheranordnung von 13.1 rein kanalbasiert gearbeitet wird, erlaubt es das neuere AuroMax® System mit einem hybriden Ansatz zu arbeiten und so eine kanalbasierte Arbeitsweise mit einer objektbasierten zu verbinden. Der Anwendungsbereich umfasst neben dem Einsatz in Kinos auch den Heimbereich, die Kopfhörerwiedergabe und die Automotive-Industrie (Auro Technologies, 2015c). In der Basisversion Auro 9.1 (siehe Abb. 24) ergänzen Höhenlautsprecher eine 5.1-Surround Aufstellung und befinden sich dabei über den Lautsprechern L (Links), R (Rechts), RH (Rechts hinten), LH (Links hinten). Die obere Ebene spiegelt also die untere, lässt dabei jedoch den Center-Kanal wegfallen. Durch diese Platzierung entsteht eine kubusähnliche Anordnung dieser acht Lautsprecher, womit bei der Produktion der obere Halbraum miteinbezogen werden kann. Wiedergabeseitig sind so gute Grundvoraussetzung für eine klangliche Umhüllung und die Wiedergabe von räumlicher Tiefe gegeben (Theile u. a., 2014).

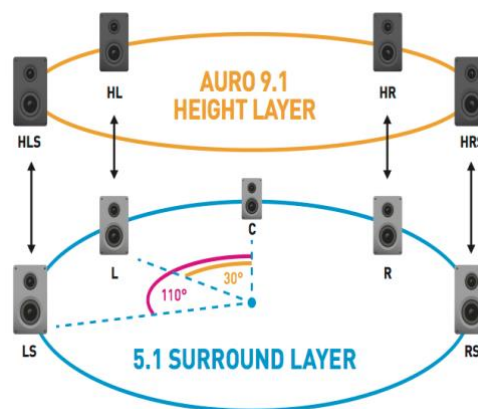


Abbildung 24: Lautsprecher-Layout für Auro 9.1 (Auro Technologies, 2015c)

Durch die Erweiterung um die vier Höhenlautsprecher ergibt sich eine deutliche Steigerung im Gestaltungspotential, welche sich besonders im Zusammenspiel der Ebenen äußert. Zusätzlich ist es wie gewohnt auch zwischen den oberen Lautsprechern möglich Phantomschallquellen zu positionieren. Die stabile Quellenabbildung zwischen unteren und oberen Lautsprechern bzw. direkt über dem Hörer sind hingegen nicht möglich. Die Lokalisierung zwischen unterem und oberem Lautsprecher sind abhängig vom Spektrum, jedoch meist extrem instabil in Bezug auf Laufzeitdifferenzen. Durch das Panning zwischen diesen lässt sich keine Elevation herstellen, da sich unkontrollierte klangliche und räumliche Artefakte einstellen. Der Sweet Spot ist in der Tiefe und in der Höhe sehr limitiert, da schon kleine Laufzeitunterschiede Klangverfärbung zur Folge haben und die

Phantomschallquelle nach oben oder unten wandern lassen. Somit ist die Elevation von Quellen bzw. eine Quellenausdehnung nach oben praktisch nicht erreichbar. Stabile Quellpositionen sind nur in den Lausprechern möglich, jedoch sind in bestimmten Grenzen bewegte Quellen darstellbar. Besser abbilden lässt sich hingegen eine Gesamtheit räumlich verteilter Schallquellen die nicht individuell lokalisierbar sind, oder große Klangkörper inklusive deren reflektiertem Schall. Die Höhe stellt also ein wichtiges Gestaltungselement dar, mit dem sich beispielsweise frühe Reflexionen vorteilhaft in der Höhe verteilen lassen, was zu einer verbesserten räumlichen Auflösung führt (Theile u. a., 2014).

Zusätzlich ist es auch möglich einen Upmix zu machen und so beispielsweise einen 5.1 Mix an ein Auro 9.1 System anzupassen. Dies kann entweder im Produktionsprozess oder mittels einer Lautstärkenverteilung auf alle Lausprecher bei der Wiedergabe, ohne Verlust des ursprünglichen Klangbildes geschehen (van Baelen, Bert, Claypool, & Sinnaeve, 2012). Mit dem Auro-Matic® Algorithmus ist es möglich Mono, Stereo oder Surround Material für ein Auro-3D® Lautsprecherlayout oder Kopfhörer aufzubereiten und so ein immersives und natürlich klingendes Klangfeld zu generieren (Auro Technologies, 2015c).

Die Schreibweise gliedert sich in die Zahl vor dem Punkt, welche die Anzahl der im Raum verteilten Breitband-Lautsprecher angibt und der Zahl hinter dem Punkt, welche kennzeichnet wie viele LFE-Kanäle vorhanden sind. Neben dem kleinstmöglichen 3D-Setup Auro 9.1 existieren noch weitere Lausprecherlayouts, bei welchen zusätzliche Lautsprecher zum Einsatz kommen:

Auf Basis von 5.1

10.1: Erweiterung des 9.1 Formates um einen Höhenlautsprecher direkt über dem Zuhörer (=VoG) (Abb. 25)

11.1: Erweiterung des 10.1 Formates um einen Center Lautsprecher in der Höherebene

Auf Basis von 7.1

11.1b: System bestehend aus zwei Lautsprecher-Ebenen. Erweiterung eines 7.1 Formates mit vier Lautsprechern in der Höherebene

13.1: Erweiterung des 11.1b Formates um einen Centerkanal in der Höherebene und einen VoG (Abb. 26)

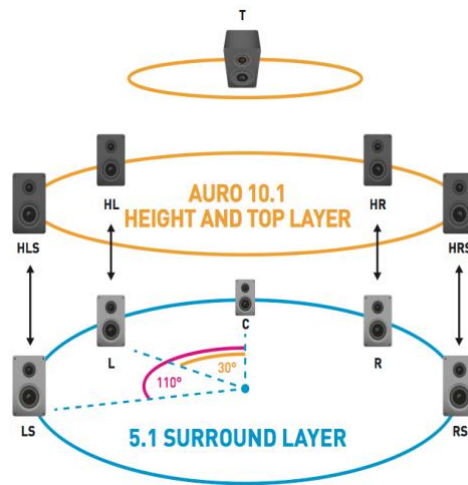


Abbildung 25: Lautsprecher-Layout für Auro 10.1 (Auro Technologies, 2015c)

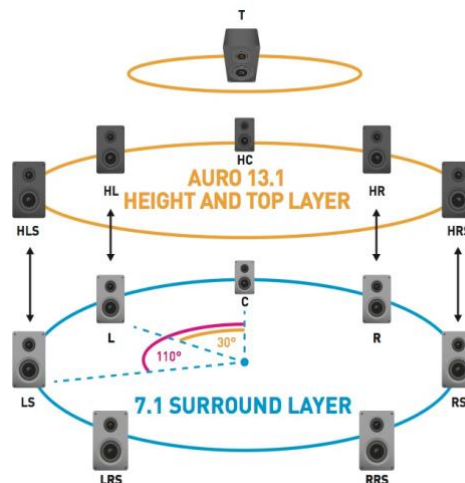


Abbildung 26: Lautsprecher-Layout für Auro 13.1 (Auro Technologies, 2015c)

4.4.2.1 AuroMax®

AuroMax® ist ein 2015 vorgestelltes immersives Audio-Format aus der Zusammenarbeit zwischen Auro Technologies und Barco Audio Technologies (früher IOSONO®). Es ist eine Kombination aus den Lautsprecherlayouts und Formaten von Auro-3D® und der Rendering-Technik für object-based Audio von Barco Audio Technologies. Das Ziel dieses Formates ist es mit kanalbasierter Technologie ein Fundament zu schaffen, dass weitergehen mit dem Einsatz von objektbasierten Techniken ergänzt und verfeinert werden kann. Begründet wird diese Arbeitsweise damit, dass sich Atmosphären und andere immersive Klangumgebungen leichter mit Mehrkanalstereofonie oder Ambisonics-Aufnahmetechniken einfangen lassen, bei welchen eine bestimmte Anzahl von Kanälen die Klangumgebung repräsentiert. In dieser Form aufgezeichnet können sie sowohl in kanalbasierten, als auch in objektbasierten Verfahren zum Einsatz kommen. Durch die Kombination der beiden Techniken wird mehr Flexibilität

erreicht, was sich allerdings auch in den technischen Anforderungen bemerkbar macht. Für deren Anwendung sind im Normalfall zwischen 20 und 32 Lautsprecher und eine dezidierte Rendering-Hardware im Einsatz. Wie das schon vorgestellte Aero 11.1 Format, basieren auch die Lautsprecheraufstellungen des AeroMax® Formats auf den bekannten Surround-Standards. Um eine hohe Hörqualität mit Kompatibilität zu vereinen, setzt das AeroMax® Format in seinen Lautsprecheraufstellungen auf Zonen. Diese Zonen teilen die ursprünglich definierten Surround-Lautsprecher in Gruppen von mehreren Lautsprechern ein. Dies erlaubt einerseits den Einsatz von guter Auflösung für objektbasiertes Audio und andererseits die Rückwärtskompatibilität zu dem Aero 11.1 Format. Die mit der Zonenteknologie am effizientesten verwendete Aufstellung ist laut eigenen Angaben AeroMax® 26.1 (siehe Abb. 27), neben welcher noch 20.1 und 22.1 existieren. (Aero Technologies & Barco, 2015).

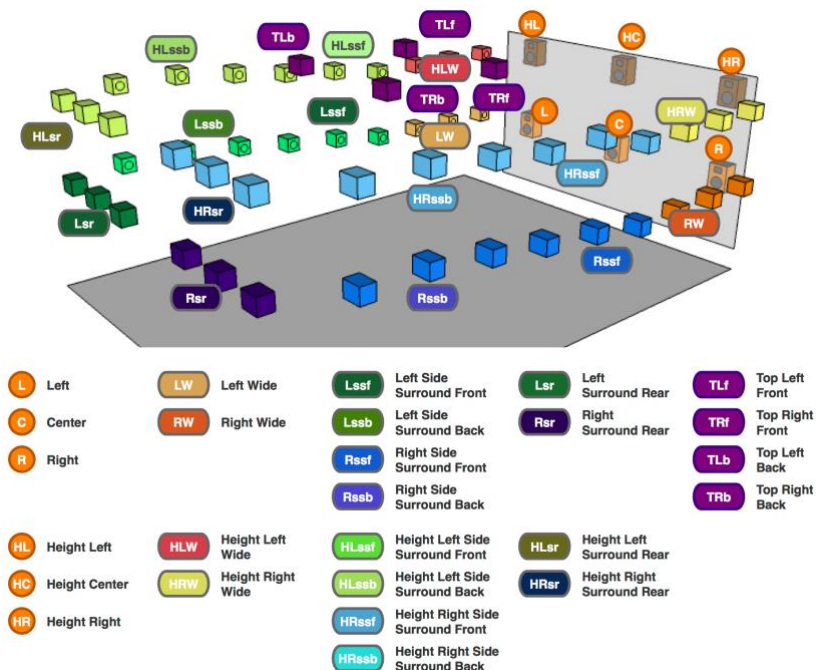


Abbildung 27: Lautsprecher-Layout für AeroMax® 26.1 (Aero Technologies & Barco, 2015)

4.4.2.2 Einsatz im Forschungsfeld

Neben einigen Einsätzen in Populärmusik (zB.: Mando Diao⁵) gibt es auch dezidiert elektronische Produktionen von David Miles Huber oder eine Albumversion von Tiësto⁶ (Auro Technologies, 2014a, 2014b, 2015a, 2015b). Die Produktionen/Mischungen erfolgten in einem der verfügbaren Auro-3D® Formate und sind hauptsächlich für die Wiedergabe in einem Auro-3D Lautsprechersystem bestimmt.

4.4.3 Dolby® Atmos™

Dolby® Atmos™ ist ein von Dolby Laboratories, Inc. 2012 vorgestelltes immersives Audio Format. In dem Whitepaper wird Dolby® Atmos™ als neue Kino Sound-Plattform beschrieben welche vorherrschende Limitationen in diesem Feld in Angriff nimmt um eine bisher nicht dagewesene Klangerfahrung zu schaffen. Grundsätzlich wird zwischen *Dolby Cinema™*, für den Einsatz im Kino und *Dolby Atmos for Home*, für den Heimgebrauch unterschieden. Zusätzlich ist *Dolby Atmos for Mobile* und der Einsatz in der Videospiel-Industrie vorhanden. Technisch wird die bisherige kanalbasierte 2D-Arbeitsweise von Dolby Surround mit einer objektbasierten kombiniert und um zusätzliche Höhenkanäle erweitert, um mehr Flexibilität zu erreichen. Im Produktionsprozess ist es so leichter diskrete Klangobjekte zu positionieren ohne auf die finale Lautsprecherkonfiguration Rücksicht zu nehmen. Zugleich ist es auch möglich automatisch Dolby Surround 5.1 und 7.1 Downmixes zu erstellen, was das Format rückwärtskompatibel macht. Die Immersion wird durch das Miteinbeziehen der vertikalen Ebene und der Möglichkeit Klänge an diskreten Positionen im Raum zu positionieren, erreicht. Die diskret positionierbaren Klänge werden Objekte (eng.: objects) genannt und können entweder statisch oder in Bewegung sein. Um dies zu erreichen, werden die Objekte mit Metadaten versehen, welche ihre Position zu einem bestimmten Zeitpunkt definieren. Bei der Wiedergabe werden diese Objekte mit Hilfe der Metadaten von einem Hardware-Renderer auf die vorhandenen Lautsprecher aufgeteilt. Neben den diskreten Objekten gibt es die kanalbasierten Beds welche für Atmosphären, flächige Klänge oder Reverbs genutzt werden und auf Basis von unterschiedlichen Lautsprecheraufstellungen (zB.: 5.1, 7.1) erstellt werden können (Dolby Laboratories, Inc., 2012).

⁵ Schwedische Rockband; vgl. Bandhomepage, abgerufen von <https://www.mandodiao.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

⁶ Bürgerlicher Name Tijs Michiel Verwest; vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://www.tiesto.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.



Abbildung 28: Unterscheidung zwischen Beds und Objects in Dolby® Atmos™ (Dolby Laboratories, Inc., 2012)

Die Unterscheidung erfolgt, da es effizienter ist solche Klänge kanalbasiert wiederzugeben. Als Finalprodukt wird schließlich eine Kombination von Beds und Objects übertragen, welche auf maximal 128 Tracks limitiert ist. Die jeweilige Rendering-Unit analysiert die erhaltenen Spuren und verarbeitet den Inhalt je nach Signaltyp, da eine differenzierte Bearbeitung erfolgen muss. So können die Beds und Objects auf bis zu 64 Lautsprechersignale für *Dolby Cinema™* und bis zu 34 für *Dolby Atmos at Home* gerendert werden. Das finale File enthält sowohl den Dolby Atmos Mix als auch einen kanalbasierten Standardmix (Dolby Laboratories, Inc., 2012).

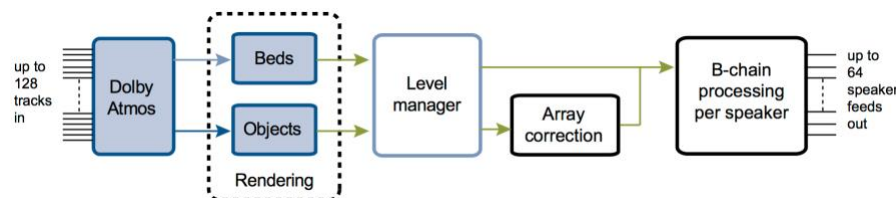


Abbildung 29: Block-Diagramm des Rendering-Vorgangs für Dolby® Atmos™ (Dolby Laboratories, Inc., 2012)

Ähnlich wie bei Auro-3D liegt das Hauptaugenmerk auf Kino und Heimkinoeinsatz. Die Schreibweise unterscheidet sich zu anderen Aufstellungen und ist durch zwei Punkte geteilt. Die erste Zahl gibt an wie viele Surround-Lautsprecher in der horizontalebene vorhanden sind, die zweite Zahl liefert Auskunft über die Zahl der LFEs und die dritte Zahl kennzeichnet wie viele Höhenlautsprecher vorhanden sind. Ein 5.1.4 System stellt demnach eine 5.1 Surround Aufstellung mit vier zusätzlichen Deckenlautsprechern dar. Neben den Lautsprechern ist es auch nötig ein Abspielgerät zu besitzen, welches den Atmos-Inhalt wiedergeben und an die verwendete Lautsprecheraufstellung anpassen kann. Ein Dolby Surround-Upmixer erlaubt es kanalbasierten Inhalt an neuere Kanalkonfigurationen anzupassen.

Um die Beschallung aus der Vertikalebene zu ermöglichen gibt es drei Möglichkeiten:

- Verwendung von Deckenlautsprechern
- Einsatz von Dolby Atmos Enabled Lautsprechern (Integrierte oder erweiterte Lautsprecher welche aus der Horizontalebene die Decke bestrahlen und durch Reflexionen vertikale Beschallung erlauben)
- Gesamtlösung durch Dolby Atmos Enabled Soundbars

Mit diesen Möglichkeiten lassen sich eine Vielzahl von Aufstellungen realisieren welche auf gängigen Surround-Systemen aufbauen. Darunter ist das kleinstmögliche Setup 5.1.2 aber auch Systeme mit mehreren Lautsprechern wie 5.1.4, 7.1.4. (Abb. 30) oder 9.1.4. Ausgehend von dem kleinsten Setup bis hin zu den größtmöglichen Setups wie zB.: 24.1.10, gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Konfigurationen, in denen auch die unterschiedlichen Lautsprechertypen als Mischform eingesetzt werden können (Dolby Laboratories, Inc., 2017b).

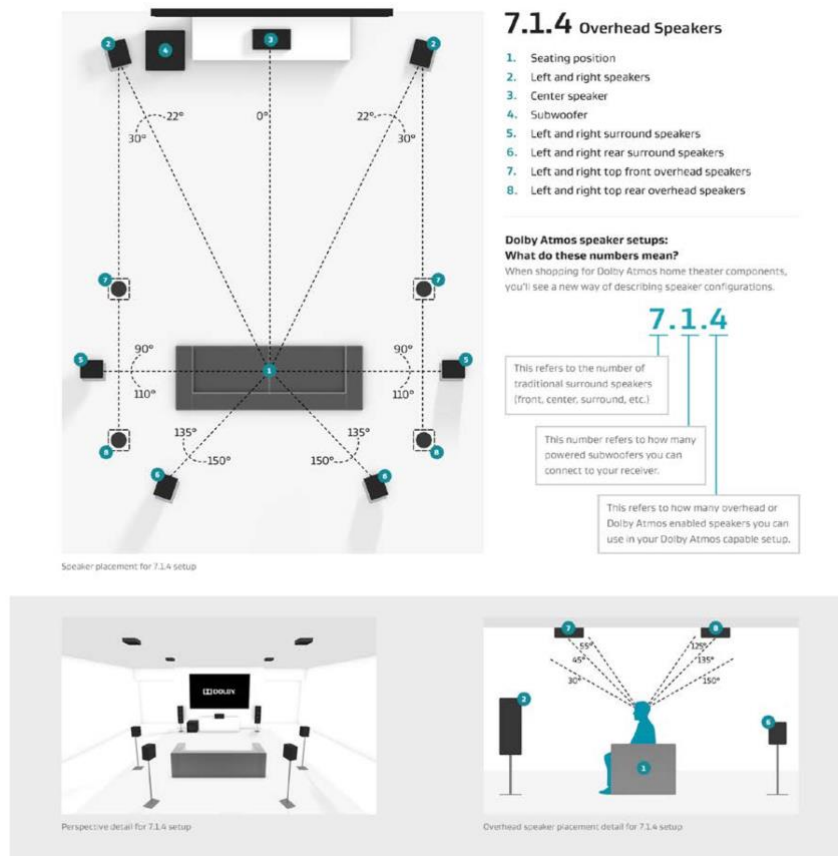


Abbildung 30: Setup-Guidelines für Dolby® Atmos™ 7.1.4 (Dolby Laboratories, Inc., 2015)

4.4.3.1 Einsatz im Forschungsfeld

Im Vergleich zu anderen Wiedergabephilosophien spricht Dolby Laboratories mit *Dolby Atmos for Music* dezidiert die Musikbranche an. Neben einigen Musikproduktionen welche ähnlich wie bei Auro-3D® vorwiegend für die Heim- und Kinowiedergabe vorgesehen sind wurde auch eine Kooperation mit dem Londoner Club *Ministry of Sound* organisiert.



Abbildung 31: Ministry of Sound X Dolby® Atmos™ (Cox, 2015)

Die Idee dahinter, war einen Nachtclub mit der immersiven Technologie von Dolby® Atmos™ zu kombinieren, um so eine neue immersive Cluberfahrung zu generieren. Neben dieser Partnerschaft gibt es weitere in der Chicagoer *Soundbar*, dem *Halcyon Club* in San Francisco oder dem *ageHa Club* in Tokyo (Dolby Laboratories, Inc., 2018; Naruse, 2018).

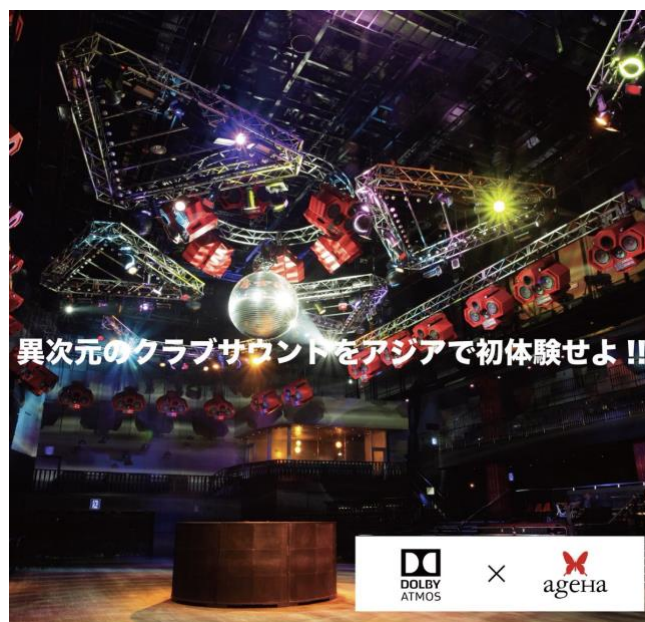


Abbildung 32: Dolby® Atmos™ X ageHa Tokyo (ageHa & Dolby Japan, 2018)

Das System in London, besteht dabei aus insgesamt 60 Lautsprechern, wovon sich 16 an der Decke befinden (Burns, 2016). Auch wenn der Einsatz im Clubbetrieb noch eher verhalten geschieht, sind aktuell durchaus Veranstaltungen vorhanden welche Dolby® Atmos™ für elektronische Clubmusik verwenden (Francey, 2018; Halcyon, 2018; Sound-Bar, 2018). Erwähnenswert ist, dass es sich hierbei nicht um den experimentellen Einsatz handelt, sondern um MusikerInnen (zB.: Deadmau5⁷, Pegboard Nerds⁸, Doorly⁹) welche in der Szene der elektronischen Clubmusik durchaus hohe Bekanntheit besitzen.

Ziel dieses Einsatzes ist es, zu ermöglichen Audio-Objekte im Raum zu platzieren oder zu bewegen. Diese können von Künstlern live bewegt bzw. auch bearbeitet (zB.: Quellengröße, Diffusität, Lautstärke) werden. Die Verteilung der Quellen auf die Lautsprecher geschieht mittels einer Kombination aus Software und Hardware. Während die Hardware die einzelnen Lautsprechersignale errechnet, sind die Software Tools vor allem für Pre-Produktion und Live-Manipulation gedacht (Dolby Laboratories, Inc., 2017a, 2018).



Abbildung 33: Einsatz von Dolby® Atmos™ in einer Live-DJ Situation (Robjohns, 2017)

⁷ Bürgerlicher Name Joel Thomas Zimmerman, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://live.deadmau5.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

⁸ Dänisch-norwegisches DJ-Duo, vgl. Künstlerhomepage, angerufen von <https://www.pegboardnerds.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

⁹ Bürgerlicher Name Martin Doorly, vgl. Künstlerbiografie, abgerufen von <https://www.residentadvisor.net/dj/doorly/biography>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

Um Atmos in einer Live-Situation verwenden zu können müssen Musikstücke vorab für Atmos vorgemischt und in Beds und Objects unterteilt werden, wobei diese auf ein Stereo-Bed und 11 Stereo-Objekte limitiert sind. Diese Stems können dann beispielsweise auf einem USB-Stick transportiert und dank des Container Formates mithilfe von Pioneer® CDJ Hardware und der Atmos DJ-App kontrolliert werden (Dolby Laboratories, Inc., 2017a, 2018).



Abbildung 34: DJ-App für die Echtzeitsteuerung (Robjohns, 2017)

Sowohl Rezipienten als auch MusikerInnen empfanden durch das installierte System eine wahrnehmbare Verbesserung der Klangwiedergabe sowie eine neuartige Cluberfahrung (Audio Rehab, 2016; Robjohns, 2017; Sub Focus, 2016).



Abbildung 35: Flyer einer Veranstaltung im Ministry of Sound (Hospital Records, 2015)

4.4.4 IOSONO®

IOSONO® ist ein vom Fraunhofer Institut für Digitale Medientechnologie entwickeltes Wiedergabekonzept, welches auf Wellenfeldsynthese basiert. Ziel der Technologie ist die Ausdehnung einer idealen, natürlich klingenden Wiedergabe, von einem Sweet Spot auf den größtmöglichen Raum. Durch die Wiedergabe mithilfe von vielen Lautsprechern, wird versucht reale Schallquellen möglichst originalgetreu wiederzugeben. Dabei ist man nicht auf eine festgelegte Anzahl von Lautsprechern beschränkt. Die Steuerhardware (siehe Abb. 36) passt sich der jeweiligen Wiedergabeumgebung an und positioniert die Schallquellen je nach Anzahl und Verteilung der Lautsprecher an der gewünschten Stelle. Die Anwendung des Systems ist vielseitig und reicht dabei vom Einsatz in Kinos, Konzerten, Theatern bis hin zu Installationen. Da hierfür eine hohe Zahl an Lautsprechern benötigt wird ist das Konzept für die Heimanwendung eher impraktikabel (Fraunhofer IDMT, 2004). Im Jahr 2014 wurde IOSONO® von Barco aufgekauft.



Abbildung 36: IOSONO® CORE Audioprozessor (Barco, 2015b)

Mit dem Spatial Audio Workstation Plug-In ist es möglich immersive Klangwelten zu gestalten welche eine Kanalanzahl von bis zu 128 Audiokanälen unterstützen. Das so erstellte File, wird von dem Prozessor IOSONO® CORE verarbeitet und in Echtzeit an die jeweilige 2D- oder 3D-Wiedergabesituation angepasst. Im Zuge dessen kann sowohl objektbasiertes, als auch kanalbasiertes Material verwendet werden (Barco, 2015b, 2018).

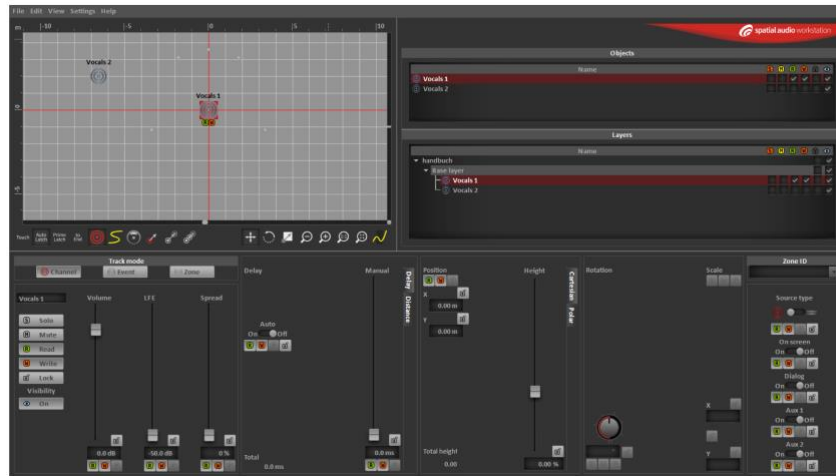


Abbildung 37: Spatial Audio Workstation Plug-In zur Positionierung von Klangquellen (Barco, 2017)

Auch wenn die grundlegende Technologie auf einer zweidimensionalen Funktionsweise basiert (siehe Kapitel 4.3.1) ist es möglich mit zusätzlichen Lautsprechern, 3D-Wiedergabesituationen zu kreieren. Bei Live-Events, ist es unter anderem auch möglich vorhandenes Material mit Live-Signalen zu kombinieren (Barco, o. J.).

Das IOSONO® Spatial Audio Workstation Plug-In verwendet objektbasierte Technik um Klang im Raum zu positionieren. In der Produktion ist es dabei nicht nötig auf die jeweilige Lautsprecherkonfiguration zu achten. Das Plug-In kann entweder unabhängig verwendet werden, oder an die Hardware IOSONO® CORE angekoppelt werden, um so Klänge in Echtzeit in der gewünschten Lautsprecher-Aufstellung zu positionieren. Exportiert werden kann entweder ein kanalbasiertes oder objektbasiertes File (Barco, 2017).

4.4.4.1 Einsatz im Forschungsfeld

IOSONO® wurde unter anderem auch von den Electronic-Pionieren Kraftwerk¹⁰ für ihre Live-Show verwendet. Das verwendete Lautsprecher-Setup bestand aus 24 Lautsprechern die in einem Ring schräg über dem Publikum angeordnet waren. Ergänzend kamen 7 Front-Lautsprecher, 4 Front-Fills und 9 Subwoofer hinzu. Die Errechnung des Wellenfeldsignals erfolgte durch den *IOSONO Spatial Audio Processor IPC100*. Durch das Fehlen der Decken- und Bodenlautsprecher stellte diese Anwendung jedoch nur eine Erweiterung eines Surround-Konzeptes und keine vollwertige 3D-Audio Wiedergabe dar (Buchanan, 2013).

¹⁰ Deutsche Musikgruppe, vgl. Homepage, abgerufen von <http://www.kraftwerk.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.



Abbildung 38: Setup für Kraftwerk Show in Düsseldorf (Wilmsmann, 2013)

Zusätzlich waren IOSONO® Systeme im *Zapata Club* in Stuttgart und im *Tresor Club* in Berlin installiert. Ähnlich wie bei Kraftwerk stellten diese Verwendungen jedoch keine Vollwertige 3D-Repräsentation dar (Barco, o. J.; Buchanan, 2013).



Abbildung 39: IOSONO® System im Tresor Club Berlin (Barco, o. J.)

In Kontrast dazu steht das für die Retrospektive der Sängerin und Musikproduzentin Björk¹¹, installierte IOSONO System im MoMa in New York. Dieses bestand aus 25 Lautsprechern die auf einem Ring in der Horizontalebene angebracht waren, 18 Deckenlautsprechern und 6 Subwoofern. In diesem System wurde unter anderem ihr Song „*Black Lake*“, welcher eigens für dieses System gemischt wurde inklusive begleitendem Video wiedergegeben (Barco, 2015a).

¹¹ Voller Name *Björk Guðmundsdóttir*, vgl. Homepage der Künstlerin, abgerufen von <https://shop.bjork.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.



Abbildung 40: Systemsetup für die Björk-Retrospektive im MoMa New York (Barco, 2015a)

4.4.5 DTS:X

DTS:X ist eine objektbasierte 3D-Audio Technologie welche im Jahr 2015 in einer Pressemitteilung angekündigt wurde. Die Technologie ist vorwiegend für den Einsatz in Kinos und Heimkinos sowie die Kopfhörerwiedergabe ausgelegt. Anders als ähnliche Konzepte ist DTS:X nicht an eine spezifische Lautsprecherzahl oder -aufstellung gebunden sondern passt sich mittels metadaten-basiertem Renderer der Wiedergabesituation an (DTS, Inc., 2015).



Abbildung 41: DTS:X Logo (Ashokan, 2015)

Ein Kernpunkt der Technologie stellt das proprietäre MDA (Multi-Dimensional Audio) Format dar, welches die Mischung und Speicherung von immersiven Produktionen ermöglicht. In der Praxis erlaubt das Format eine maximale Kanalanzahl von 13 Kanälen (11.2) für den Heimbereich. Der Hintergrundgedanke der Entwickler ist eine offene und flexible Technologie zu liefern, um so möglichst vielen Menschen den Zugang zu immersivem Klang zu ermöglichen. Ähnlich wie bei anderen Formaten ist ein Upmixer vorhanden, welcher Stereo, 5.1 oder 7.1 Material für das vorhandenen 3D-Lautsprecherlayout aufbereiten kann (DTS, Inc., 2015).



Abbildung 42: DTS MDA-Tools (Westlake Pro & DTS, Inc., o. J.)

4.4.5.1 Einsatz im Forschungsfeld

Es konnte kein Einsatz gefunden werden, welcher sich in das Forschungsfeld eingliedern lässt.

4.4.6 SpatialSound Wave

Entwickelt vom Fraunhofer IDMT stellt *SpatialSound Wave* ein objektbasiertes Produktions- und Wiedergabesystem dar. Mit dem System ist es möglich Objekte mittels einer webbasierten Bedienoberfläche im Raum zu positionieren. Das System ist plattformunabhängig und unterstützt den simultanen Zugriff über mehrere Geräte. Dabei ist eine freie Positionierung nahezu beliebig vieler Lautsprecher möglich. Die Anwendungen reichen von Live-Sound über Full Dome-Produktionen bis hin zu Ausstellungen und dem Einsatz in Forschung und Lehre. Unterstützt werden sowohl Live-Signale als auch DAW-Signale. Technisch geschieht die Verteilung der Audio-Objekte mittels regenerativer oder faltungsbasierter dynamischer Raumsimulation (Fraunhofer IDMT, 2017). Dabei wird das Originalsignal mit der Impulsantwort eines anderen Raumes gefaltet und erzeugt somit bei der Wiedergabe einen Raumeindruck. Die Raumspezifischen Reflexionen werden dabei von allen Wänden und der Decke, wiedergegeben. Zusätzlich ist mit der Erweiterung durch Raummikrofone die Möglichkeit gegeben die vorhandene Raumakustik elektronisch zu manipulieren (Fraunhofer IDMT, 2013).

4.4.6.1 Einsatz im Forschungsfeld

Da sich der Einsatz von *SpatialSound Wave* eher noch auf den Forschungsbereich beschränkt sind Anwendungen im Bereich der populären Musik zurzeit eher gering. Jedoch besteht eine Kooperation mit der SAE Köln, in der versucht wird, 3D-Musikproduktionen mit *SpatialSound Wave* umzusetzen (SAE Institute, 2014).

4.5 Systeme mit Fokus auf Musikwiedergabe

Neben den bisher vorgestellten Wiedergabephilosophien sind auch solche vorhanden, welche weniger bekannt und erforscht sind. Im Unterschied zu den vorhergehenden liegt ihr Fokus nicht auf dem Einsatz für Film oder Fernsehen, sondern auf dem Versuch immersive Technologie und Erkenntnisse aus der Forschung für die Verwendung von (populärer) Musik zu nutzen. Dabei versuchen sie möglichst, sämtliche Phasen ausgehend von der Produktion bis hin zur finalen Wiedergabe abzudecken um sowohl MusikerInnen, als auch KonsumentInnen einen einfachen Zugang zu diesen Technologien zu ermöglichen. Auffällig ist, dass obwohl Ideen bezüglich 3D-Audio schon seit einiger Zeit vorhanden sind (vgl. Ambisonics, WFS, VBAP), die Anwendung im populären Musiksektor auf einen kleinen Bereich einschränkt bleibt. Verglichen mit der durchaus langen Zeit seit deren Formulierung, ist die Verbreitung fast vernachlässigbar klein. Eine Überlegung hierzu ist, dass der Wissenstransfer zwischen Forschung und Marktwirtschaft eventuell nicht gut genug funktioniert. Auch wenn vereinzelt wissenschaftliche Arbeiten hierzu vorhanden sind fokussiert sich die Forschung allen Anscheins nach nicht auf einen Einsatz von 3D-Audio Konzepten in Zusammenhang mit populärer elektronischer Musik. Es lässt sich beobachten, dass Forschungen zu diesem Themenkomplex vielmehr auf eine Verbindung zu der Avantgarde-Szene limitiert sind. Es ist jedoch auch möglich, dass die teilweise mathematisch hochkomplexen Themengebiete nicht simpler aufbereitet werden was zur Folge hat, dass die Behandlung bzw. der Einsatz dieser Techniken so auf akademische Kreise beschränkt bleiben. Dies sind jedoch nur einige Thesen, welche keinen intrinsischen Wahrheitscharakter besitzen und durch weiterführende Forschungen bewiesen oder falsifiziert werden müssten.

Während andere Philosophien häufig den Mittelpunkt von Forschungen und wissenschaftlichen Arbeiten darstellen, stammen die Quellen für die hier diskutierten Systeme vorwiegend aus dem Web. Durch die Web-Recherche, konnten die folgenden Systeme und dessen Anwendungen im Forschungsfeld gefunden werden.

4.5.1 4DSOUND

4DSOUND ist ein niederländisches Kollektiv rund um Paul Oomen, welches sich seit 2007 mit immersiver Audio beschäftigt. Im Laufe dieser Zeit entstand ein ganzheitliches System, welches aus einer Kombination von Hardware und Software-Tools besteht, um räumliche und „soziale“ Klangumgebungen zu schaffen. In den so erstellten Klangumgebungen ist es RezipientInnen möglich, sich frei zu bewegen, um das Schallfeld zu erkunden. Neben dem Einsatz für eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungsszenarien (zB.: Installationen, Opern), gibt es auch die Verwendung im Bereich der elektronischen Populärmusik. Im Jahr 2015 wurde außerdem das *Spatial Sound Institute* in Budapest gegründet, welches sich verstärkt der Forschung und Entwicklung von immersiven Audiatechnologien widmet. In diesem Rahmen werden unter anderem auch Kurse angeboten, welche sich mit dem 4DSOUND-System auseinandersetzen (4DSOUND, o. J.-a, o. J.-b; MOME, 2018).



Abbildung 43: 4DSOUND-System im Berliner MONOM (Breed, o. J.)

In dem System können 24 Klangquellen in Echtzeit im Raum positioniert und kontrolliert werden, oder Klangszenen für die Wiedergabe vorproduziert werden. Neben einfachen Positionsdaten und Bewegungen kann auch die Größe und das Verhalten der Klangquellen im Raum bearbeitet werden. Durch dieses Design ist es laut eigenen Angaben möglich, bis zu 200 räumliche Parameter zu kontrollieren, welche auch durch den Einsatz von ergänzenden Sensoren gesteuert werden können. So ist es möglich, Musikstücke vorzuproduzieren, aber auch in einer Live-Situation zu manipulieren und reaktiv zu externen Faktoren zu gestalten (Ableton & Breed, 2014).

Das 4DSOUND System arbeitet objektbasiert und besteht softwareseitig aus der 4D.Engine, einem Standalone-Prozessor der für die Spatialisierung verantwortlich ist und dem 4D.Animator, der neben visuellem Feedback auch Kontrolle über die Klangquellen ermöglicht. Die 4D.Engine kann mit Programmen wie *Ableton Live* in Kombination mit *Max for Life* verbunden werden um deren Parameter zu kontrollieren. Zusätzlich ist es möglich mit externen Hardware-Controllern wie Tablets, Parameter zu kontrollieren, was es ermöglicht sich während des Live-Sets oder der Produktionsphase durch das System zu bewegen (4DSOUND, o. J.-c). Zur Zeit der Arbeit war die Software weder frei zugänglich noch käuflich erwerbbar.

Neben weiteren temporären Einsätzen wie beim ADE (Amsterdam Dance Event) und im ZKM (Zentrum für Kunst und Medien) in Karlsruhe existiert seit 2017 zusätzlich im MONOM (Räumlichkeiten des Funkhaus Berlin), ein dauerhaft installiertes 4DSOUND-System dessen Ziel es ist, die Technologie Berliner KünstlerInnen sowie einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Das MONOM bezeichnet das System einerseits als neuartiges Spatial-Sound-Instrument und andererseits als experimentellen Veranstaltungsort und state-of-the-art Spatial Sound Studio. Das System selbst hat die Kapazität bis zu 400 Personen zu beschallen und besteht aus 48 omnidirektionalen Lautsprechern und neun Subwoofern welche sich unter der akustisch durchlässigen Bodenfläche befinden. Die Lautsprecher sind dabei in 16 zylindrischen Käfigen befestigt (siehe Abb. 44), welche gleichmäßig über einen 16x16m großen Raum verteilt sind (4DSOUND, 2016b, 2017; MONOM, o. J.).



Abbildung 44: Einer der 16 Boxenzylinder (4DSOUND, 2017)

Neben diversen experimentellen Produktionen kollaborierte 4DSOUND mit elektronischen Produzenten wie Oscar Mulero¹², Mike Parker¹³ und Dasha Rush¹⁴ um sich mit dem Thema Räumlichkeit im Kontext des Genres Techno auseinanderzusetzen (4DSOUND, 2016a).



Abbildung 45: Live-Techno Performance im 4DSOUND-System (4DSOUND, 2016a)

Aber auch sonst pflegt das Kollektiv den Kontakt mit elektronischen Produzenten wie Pantha du Prince¹⁵, Stimming¹⁶ oder Max Cooper¹⁷. Letztere spielten unter anderem 2013 ihre ersten Live-Sets und brachten Clubmusik so in einen veränderten Kontext. Bezüglich der Arbeit mit dem 4DSOUND-System vertritt Max Cooper die Meinung, dass das System in seinem Fall den Parameter der Räumlichkeit in einen Clubkontext bringt und so eine interaktive dreidimensionale Klangumgebung schafft. Er merkt jedoch an, dass sich die Anwendung trotz der gegebenen Clubkompatibilität zwischen Club- und Museumserfahrung bewegt (Cooper, 2013). Auch Stimming ist der Meinung, dass es sich bei dem System um eine sehr spezielle, zukunftsorientierte Technologie handelt. Bei seinem Live-Einsatz kontrollierte er neben verschiedenen Klanggeneratoren auch die räumlichen Parameter der Klänge selbst (Ableton, Oomen, & Stimming, 2014).

¹² Vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <http://www.oscarmulero.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

¹³ Vgl. Künstlerbiografie, abgerufen von <https://www.residentadvisor.net/dj/mikeparker/biography>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

¹⁴ Bürgerlicher Name Dasha Ptitsyna Van Celst, vgl. Homepage der Künstlerin, abgerufen von <http://www.dasharush.info/home.html>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

¹⁵ Bürgerlicher Name Hendrik Weber, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <http://www.panthaduprince.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

¹⁶ Bürgerlicher Name Martin Stimming, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <http://stimming.org/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

¹⁷ Vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://maxcooper.net/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

4.5.2 Envelop

Envelop ist ein 2013 gegründetes Unternehmen mit Sitz in San Francisco, welches es sich zum Ziel gemacht hat die Wirkung von Musik durch immersive Hörerlebnisse zu verstärken. Durch die Verwendung von 3D-Audio besteht in den Augen der Gründer die Möglichkeit, zu verändern wie Musik geschaffen und erlebt wird. Neben immersiven Konzerten und DJ-Sets werden auch Album-Listenings und Workshops für die Arbeit mit immersive Audio angeboten. Gegründet wurde das Unternehmen von Christopher Willits, Roddy Lindsay, Elan Rosenman und Andrew Kimpel (Envelop, o. J.-a). Bei einer Kickstarter-Kampagne im Jahr 2015, wurde vom angestrebten Finanzierungsziel von 27.333\$ für den permanenten Aufbau einer Veranstaltungs-Location, 51.616\$ aufgebracht. Das System besteht aus einer Kombination von Hardware und Open-Source Software. Der technische Aufbau umfasst 32 Lautsprecher welche das Publikum einhüllen. Dabei ist das System-Design ähnlich zu dem 4DSOUND-System. Die, in diesem Fall, direktionalen Lautsprecher sind dabei ebenso in zylindrischen Käfigen befestigt. Im Unterschied zu 4DSOUND sind die acht Lautsprechersäulen, welche jeweils drei Lautsprecher beinhalten, jedoch kreisförmig um die Rezipienten angeordnet (siehe Abb. 46). Diese 24 Lautsprecher werden durch vier Lautsprecher über der Hörzone und vier Subwoofer ergänzt. Zusätzlich sind auch LEDs in den Säulen verbaut, welche verwendet werden können um die akustische Ebene mit der visuellen zu verbinden (Envelop, 2015).

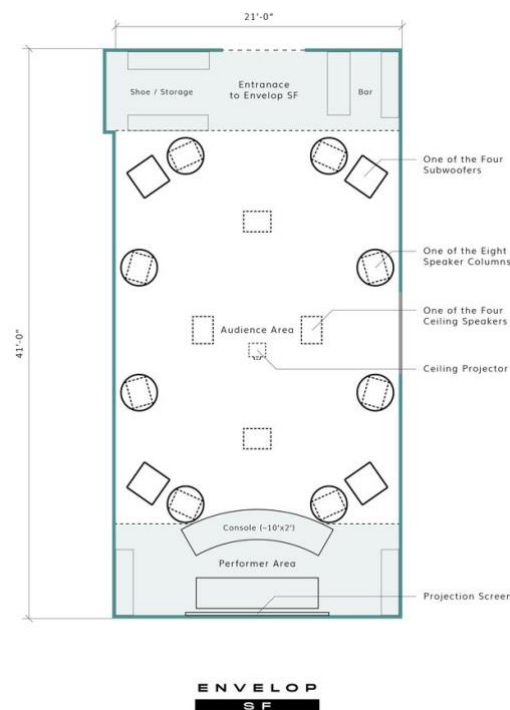


Abbildung 46: System-Setup des Envelop SF (Envelop, o. J.-b)

Zur Zeit der Recherche waren drei verschiedene System-Konzepte vorhanden:

Envelop SF – Permanent installiertes System im „The Midway“ in San Francisco (Finanziert durch Kickstarter Kampagne)

Envelop Satellite – Mobiles Setup welches zum Beispiel Einsatz auf Festivals findet (24.4 System ohne Deckenlautsprecher)

Envelop SLC Pop-Up – Pop-Up System in Salt Lake City



Abbildung 47: Mobiles Envelop Satellite System (Envelop, o. J.-d)

Für die Verräumlichung verwendet Envelop Ambisonics 3ter Ordnung und bietet für die Produktion kostenlose Open-Source Software zum Download an. Diese nennt sich „*Envelop for Live*“ (Kurz *E4L*) und besteht aus 10 Plug-Ins für *Ableton Live 10* bzw. *Max for Live*. Mittels der Software wird KünstlerInnen ermöglicht immersives Audiomaterial für Mehrkanal und Kopfhöreranwendungen zu gestalten. Grundlegend ist die Software dafür ausgelegt Material zu generieren, welches durch das Envelop-System wiedergegeben wird. Zusätzlich ist es möglich eigens definierte Lautsprecher-Layouts zu verwenden. Die Erstellung des notwendigen Decoders erfordert jedoch grundlegenden Programmierkenntnisse in *Max for Live* (Envelop, o. J.-a; Slee & Envelop, 2015/2018).



Abbildung 48: E4L Produktions-Tools (Envelop, o. J.-c)

Ähnlich wie 4DSOUND pflegt auch Envelop den Kontakt zu elektronischen PopulärmusikproduzentInnen wie beispielsweise Tycho¹⁸, Christina Chatfield¹⁹, Rob Garza²⁰ oder The Glitch Mob²¹.



Abbildung 49: Live-Performance im Envelop-System (Envelop, o. J.-e)

¹⁸ Bürgerlicher Name Scott Hansen, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <http://www.tychomusic.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

¹⁹ Vgl. Homepage der Künstlerin, abgerufen von <http://anitserk.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

²⁰ Vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://robgarza.com/>. Letzter Aufruf am 13.01.2019.

²¹ Amerikanisches Electronic-Trio, vgl. Homepage, abgerufen von <https://www.theglitchmob.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

4.5.3 INTORNO LABS

INTORNO LABS wurde 2015 von Ludovico Vignaga gegründet und hat seinen Sitz in Barcelona. Das Unternehmen versucht die Brücke zwischen Forschung und der Veranstaltungsindustrie zu schlagen indem es von der Planung bis zu der finalen Wiedergabe, Projekte ganzheitlich betreut. Dabei sind je nach Kundenwunsch und Anforderung an das Projekt verschiedene Bundles bzw. Workflows möglich. Dieses ganzheitliche Konzept hat das Ziel, neben KünstlerInnen und VeranstalterInnen auch für jede andere potentielle Kundengruppe eine mögliche Lösung zu finden. Das Unternehmen bezeichnet ihr Produkt als multidimensionale Audiotechnologie, welche eine einnehmendere und immersive Hörerfahrung liefert (INTORNO LABS, o. J.-a). Aufbauend auf objektbasierter Technologie arbeitet das System, welches skalierbar ist, mit der eigens entwickelten LBS™-Technologie (layer-based-spatialization) und dem VariCoustic™-Algorithmus. Die Software gliedert sich in zwei Hauptteile und besteht aus dem Audio-Modul und dem Kontroll-Modul. Das Audio-Modul ist dabei sowohl für das Echtzeit-Audio-Processing und Rendering, als auch für die Generierung der Lautsprecher-Feeds für das gestaltetet Lautsprecher-Layout zuständig. Das Kontroll-Modul ist für die Steuerung der räumlichen Parameter, die Kontrolle von externen Tools und designspezifische Einstellung zuständig. Die zwei Module können dabei entweder auf einem Rechner betrieben werden oder für rechenaufwändigere Einsätze auf zwei Rechner aufgeteilt werden (INTORNO LABS, 2018).

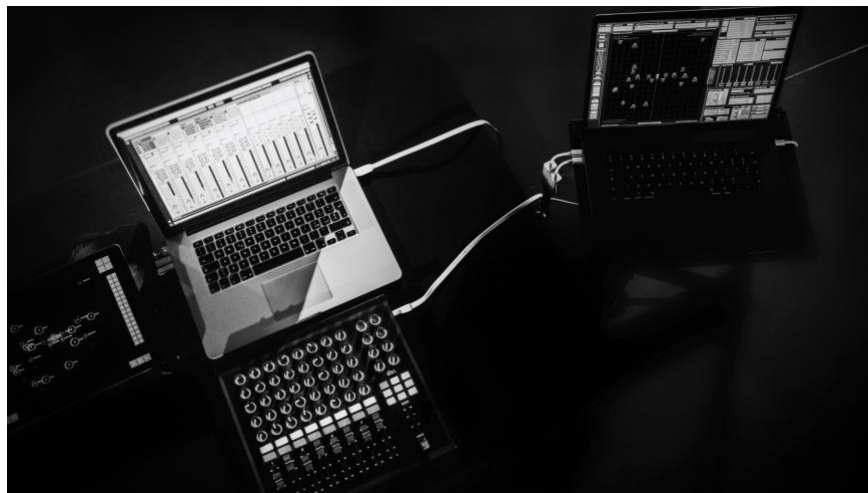


Abbildung 50: Live-Setup, aufgeteilt auf zwei Rechner (INTORNO LABS, 2018)

Das Kontroll-Modul besteht im Wesentlichen aus drei Software-Tools welche in beliebiger Kombination für die Kommunikation mit dem Audio-Modul verwendet werden können:

INTORNO Bridge: Plug-In-Suite die in Kombination mit einer DAW für das Aufnehmen, Schreiben und Abspielen von räumlicher Information verwendet werden kann.

Space Performance Controller: Erlaubt die Echtzeitmanipulation von räumlichen Informationen mittels multi-touch Hardware wie Tablets.

INTORNO Binaural VR Suite: Produktionstools für die Erstellung von Binaural und VR-Anwendungen.

Im Produktportfolio sind weitere Plug-Ins und Softwarelösungen vorhanden, welche laufend weiterentwickelt werden. Durch das Design und die Arbeitsweise dieser Tools, ist sowohl die Möglichkeit für unabhängige Produktionen sowie Live-Anwendungen gegeben. Die verwendeten Audiokanäle werden dabei von der Software in Quellen umgewandelt, welche im Wiedergaberaum bezüglich ihrer Position bearbeitet und kontrolliert werden können. Den einzigartigen Vorteil welchen INTORNO LABS in ihrer Technologie sieht, ist der durch die akustische Präzession nicht vorhandene Sweet Spot im Wiedergaberaum. Dies ermöglicht ein skalierbares System welches dezidiert an die Wiedergabesituation angepasst werden kann (INTORNO LABS, o. J.-b).

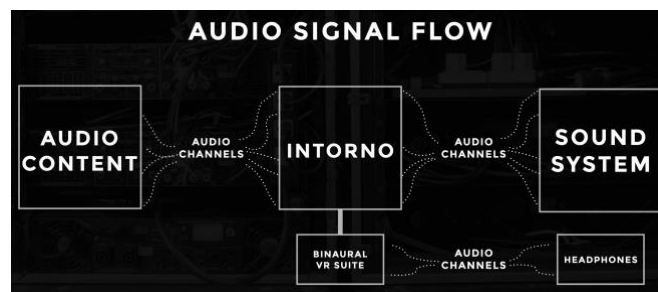


Abbildung 51: SignalfLOW im INTORNO LABS System (INTORNO LABS, 2018)

Seit der Firmengründung waren von INTORNO LABS designte Hörumgebungen beispielsweise im Rahmen des MUTEK Festivals oder zuletzt am MIRA Festival 2018 in Barcelona vertreten, wo die Technologie von KünstlerInnen wie Adeline²², Deadbeat²³, Borusiade²⁴ oder Alessandro Adriani²⁵ verwendet wurde (MIRA, 2018; MUTEK, 2016).

²² Bürgerlicher Name Adeline Hedmar, vgl. Homepage der Künstlerin, abgerufen von <http://adelinemusic.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

²³ Bürgerlicher Name Scott Monteith, vgl. Künstlerbiografie, abgerufen von <https://www.residentadvisor.net/dj/deadbeat/biography>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

Das System auf dem MUTEK Festival bestand aus 30 Lautsprechern in drei Ebenen und wurde durch acht Subwoofer ergänzt. Die KünstlerInnen befanden sich während der Auftritte in der Mitte des Raumes (Amate Audio S.L., 2016; Amate Audio S.L., Amate, & Vignaga, 2016).



Abbildung 52: System-Design für das MUTEK Festival 2017 (Amate Audio S.L., 2016)

Das Setup am MIRA Festival bestand aus der gleichen Lautsprecheranzahl wie auf dem MUTEK Festival. Die räumliche Echtzeitverteilung der Quellen erfolgte dabei teilweise durch die KünstlerInnen selbst und teilweise durch MitarbeiterInnen INTORNO LABS (L. Vignaga, persönliche Kommunikation, 3.-19. Dezember 2018). Der iranisch-US-amerikanische Grammy-nominierte House-/Techno-Produzent Dubfire²⁶ vertrat, nachdem er eine Demonstration des Systems hörte, die Meinung, dass Konzepte wie dieses den Blick auf gängige Clubkonzepte verändern und zu einer Umstrukturierung dieser führen könnte (Ali Shirazinia & INTORNO LABS, 2018).



Abbildung 53: Beispiele für Live-Anwendungen (INTORNO LABS, 2018)

²⁴ Bürgerlicher Name Miruna Boruzescu, vgl. Künstlerbiografie, abgerufen von <https://www.residentadvisor.net/dj/borusiade/biography>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

²⁵ Vgl. Künstlerbiografie, abgerufen von <https://www.residentadvisor.net/dj/alessandroadriani/biography>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

²⁶ Bürgerlicher Name Ali Shirazinia, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <https://www.dubfire.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

4.6 Produktionsphasen

Um zu verstehen wie eine 3D-Audio Produktion ablaufen kann, ist es hilfreich festzuhalten welche Glieder in einer Produktionskette vorhanden sein können.

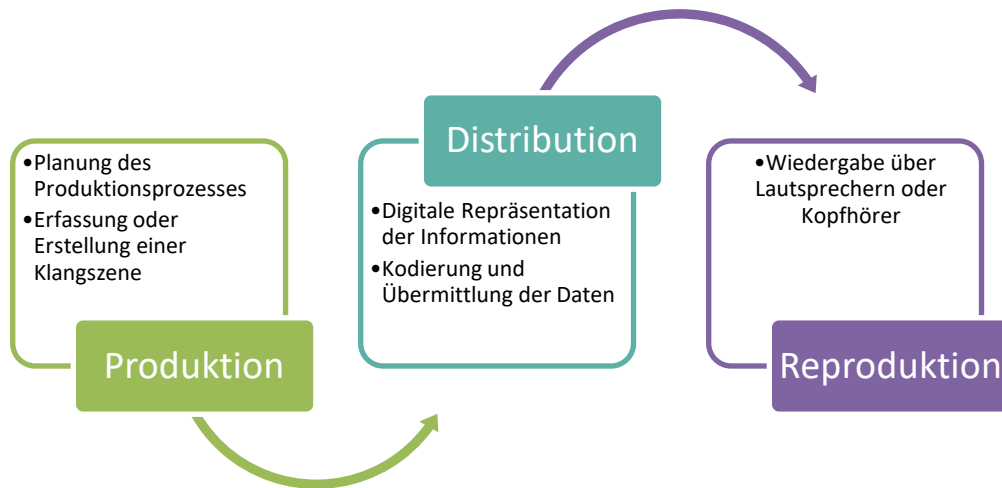


Abbildung 54: Produktionsphasen einer 3D-Audio-Produktion (Grafik erstellt durch den Autor, 2018)

4.6.1 Produktion

Dieser Abschnitt umfasst sowohl die Planung, die Pre-Produktion, eventuelle Aufnahme und die eigentliche Produktion. Audiomaterial wird für eine gewisse 3D-Wiedergabe konzipiert und produziert. Hierbei gilt zu berücksichtigen wo und wie das finale Audiomaterial wiedergegeben wird und in welchem Format es transportiert wird. Auch gilt es zu einzukalkulieren, ob die Audiodaten live kontrolliert werden sollen, oder ob es sich um eine bloße Wiedergabe handelt. Zusätzlich muss bedacht werden ob bzw. in welchem Rahmen eine Rückwärtskompatibilität für Wiedergabesituationen mit einer geringeren Lautsprecheranzahl, sowie Surround oder sogar Stereo-Wiedergabe, gegeben sein muss. Die eigentliche Produktion für die später erfolgende Distribution (ausgenommen Live-Sound), erfolgt meist in DAWs oder ähnlicher Standalone-Software. In dieser ersten Phase wird meist auch entschieden welches der vorhandenen Reproduktionsmodelle gewählt wird. Im Folgenden wird Audiomaterial bearbeitet und mit Hilfe von, beispielsweise 3D-Panning Tools, im dreidimensionalen Raum verteilt und manipuliert. Im Optimalfall sollte dabei die Abhörsituation in der Produktion der finalen Wiedergabesituation entsprechen. Häufig werden proprietäre Panning-Tools der jeweiligen Firmen (zB.: Auro-3D® Authoring Tools, Dolby Atmos Production Suite, DTS:X® Creator Suite, IOSONO Spatial Audio Workstation) für die Positionierung in dem eigenen Wiedergabekonzept angeboten. In manchen Fällen sind für die Produktion und/oder Wiedergabe auch zusätzliche Hardwaregeräte notwendig. Es gibt

jedoch auch unabhängige Software-Lösungen welche eine Vielzahl von diversen Formaten und Verfahren anbieten (zB.: Flux:: Spat Revolution, MNTN, New Audio Technology Spatial Audio Designer (SAD), Sound Particles). Auch wenn einige Programme kostengünstiger erhältlich sind (Sound Particles - €249), siedeln sich diese Produkte eher im hochpreisigen Segment an (Stand: November 2018, Preis für Vollversionen: Flux:: Spat Revolution – €1.490, MNTN – €1.299, New Audio Technology SAD – €1.349). Dem gegenüber steht eine Vielzahl von Programmen und Plug-Ins die sich zwar nur auf eine Arbeit mit Ambisonics beschränken, dafür aber größtenteils frei zur Verfügung stehen (Facebook360, The Ambisonic Toolkit (ATK), WigWare, Blue Ripple Sound O3A Core, IEM-Plug-In-Suite). Jedoch sind auch in diesem Sektor Programme und Effekte für die Arbeit mit Ambisonics vorhanden, welche in der Vollversion nur käuflich erwerbbar sind.

4.6.2 Distribution

In der Distributionsphase wird entschieden wie die vorhandenen Daten übertragen werden. Auf Grund der unterschiedlichen Modelle gliedern sich dabei auch die übertragenen Daten in verschiedene Formate:

Kanalbasiert: Übertragung von Audiokanälen in definierter Kanalanzahl (Unterschiedliche Kanalreihenfolgen möglich).

Objektbasiert: Übertragung von Audio-Objekten mit verlinkten Metadaten.

Szenenbasiert: Übertragung der Schallverteilung auf einer Kugeloberfläche (Übertragung von Ambisonics-Komponenten in Form von Audiokanälen, Unterschiedliche Komponentenreihenfolge möglich).

Mischformen: Variiert je nach Mischform (zB.: Dolby Atmos: Übertragung von kanalbasierten „Beds“ und objektbasierten „Objects“).

Die auf diese Weise kodierten Daten, können über unterschiedliche Distributionskanäle ihren Weg zu den KonsumentInnen finden (zB.: Blu-Ray, CD, Streaming, Mehrkanaldatei). So ist es möglich, die erstellten Klangszenerien an Kinos anzuliefern, über das Internet zu vertreiben oder auf physischen Datenträgern in Umlauf zu bringen. Ein wichtiger Faktor welcher hier eine Rolle spielt, ist die Berücksichtigung der finalen Wiedergabeumgebung.

4.6.3 Reproduktion

Die Wiedergabe stellt das letzte Glied in der Kette dar. In diesem Schritt findet sich die generierte Klangszene in einer Wiedergabesituation wieder. An dieser Stelle ist es ausschlaggebend, wie das Material wiedergegeben wird und was dafür benötigt wird. So trägt beispielsweise die Art der Schallstrahler, dessen Positionierung und die Wiedergabeumgebung maßgeblich dazu bei, ob das Material so erlebt wird, wie ursprünglich konzipiert war. In einigen Fällen werden zur Wiedergabe zusätzliche Hardwareprozessoren benötigt. Ähnlich wie in den vorangegangenen Phasen unterscheidet sich bei den unterschiedlichen Modellen auch die Wiedergabe voneinander. Bei einer Live-Übertragung oder -Manipulation gilt es weitere Faktoren zu beachten.

	Nötige Hardware	Flexibilität	Manipulation in Echtzeit
Kanalbasiert	Hardwaregerät für Wiedergabe auf Lautsprechern	<ul style="list-style-type: none"> + Einfaches Setup, hohe Verbreitung + Kein Rechenaufwand für die Wiedergabe erforderlich – Unflexibel bezüglich nicht genormter Wiedergabeumgebungen – Limitierte 3D-Abbildung 	Schwer bis gar nicht möglich
Objektbasiert	Hardware bzw. Rendering-Unit für die Verräumlichung in Echtzeit	<ul style="list-style-type: none"> + Flexibel für willkürliche Wiedergabeumgebungen + Gute Quellrepräsentation + Möglichkeit der Interaktivität + Steigende Verbreitung – Hoher Übertragungs- & Speicheraufwand – Komplexe Rechenoperationen 	Ja
Szenenbasiert	Hardware und Decoder für vorhandenes Lautsprecher-Layout	<ul style="list-style-type: none"> + Flexibel für willkürliche Wiedergabeumgebungen + Einfache Manipulation des Schallfelds möglich + Volle 3D-Abbildung möglich – Notwendigkeit von einer Vielzahl von Lautsprechern in idealer Aufstellung – Noch nicht großflächig verbreitet 	Ja
Mischformen	Hardware bzw. Rendering-Unit für die Wiedergabe	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Systemdesign unterschiedliche Flexibilitätsgrade + Möglichkeiten für verschiedene Kombinationen – Proprietäre Arbeitsverläufe 	Ja - Teilweise

Tabelle 3: Wiedergabeeigenschaften der Reproduktionsmodelle (Tabelle erstellt durch den Autor auf Basis von (He, 2017))

5 Problemzentrierte Interviews

Durch qualitative Interviews mit MusikproduzentInnen der österreichischen elektronischen Populärmusikszene, welche nach einem Gesprächsleitfaden erfolgten, wurde herausgefunden, wie viel Wissen über dieses Thema in der Fokusgruppe vorherrscht und wie groß das Interesse an einer zukünftigen Arbeit mit 3D-Audio Konzepten ist. Zusätzlich wurde der Fokus auf die relevanten Fragestellungen und Thesen gelegt, um eindeutige und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Um zu evaluieren, inwiefern die Teilnahme an dem im Zuge der Arbeit durchgeführten Versuchs die subjektive Meinung veränderte, wurde nach der Teilnahme eine zweite Interviewphase durchgeführt. So konnten die beiden Interviewphasen in Relation gesetzt werden und die Kernthemen auf Veränderung und die Beeinflussung der subjektiven Meinung durch die Arbeit mit einer 3D-Audio Produktionstechnik untersucht werden.

Für die Beantwortung der behandelten Forschungsfrage eignet sich die Verwendung des problemzentrierten, leitfadengestützten Interviews angelehnt an Witzel (1982, 1985). Durch den Einsatz dieser aus der qualitativen Sozialforschung bekannten Methode, wird eine für das Thema notwendige Offenheit gewährleistet. Gleichzeitig wird das notwendige Maß an Wissenschaftlichkeit beibehalten. Durch diese Offenheit kann herausgefunden werden, welche individuellen Sichtweisen und Erfahrungen, Meinungen und Expertisen in der Befragungsgruppe vorhanden sind (Witzel, 2000). Aufgrund der kleinen Befragungsdichte diente das Ergebnis dieser Interviews nicht dazu, eine allgemein gültige Aussage zu treffen, sondern vielmehr um herausfinden, ob eine Schnittmenge existent ist und um eine Einschätzung darüber zu liefern, in welche Richtung sich dieser Themenkomplex entwickeln könnte. Der Einsatz von Methoden aus der qualitativen Sozialforschung wurde für diese Arbeit gewählt, da die Beantwortung der Frage in vorhandener Literatur unvollständig ist oder nur oberflächlich beantwortet wird. Durch die Interviews konnten spezifischere Informationen zu 3D-Audio eingeholt werden und um neue Perspektiven und Aspekte ergänzt werden. Mit Hilfe dieser Methode konnten nicht nur die für diese Arbeit aufgestellten Hypothesen bewiesen werden, sondern auch neue Hypothesen und Theorien generiert werden.

5.1 Kategorisierung der Fokusgruppe

Im Laufe der Befragungen wurden Interviews mit fünf Interviewpartnern geführt. Die Eignung für qualifizierte InterviewpartnerInnen setzte einen Wohnsitz und/oder Arbeitssitz in Wien und Umgebung voraus. Diese Limitation beschränkte die Fokusgruppe auf österreichische KünstlerInnen aus Wien und dessen nähere Umgebung, wodurch eine bessere Deutung der Interviews und eine genauere Zukunftsprognose innerhalb des untersuchten Feldes möglich waren. Des Weiteren musste es sich um Personen handeln welche aktiv elektronische Populärmusikproduktionen realisieren. Diese Produktionen mussten dabei durch die Arbeit in einer DAW (Digital Audio Workstation) entstehen. Das Hauptarbeitsmaterial sollte aus aufgenommenen (selbst aufgenommenen oder Inhalt von Sample Libraries) Mono und Stereo Audio-Files bestehen, welche durch die jeweils eigene Arbeitsweise in einer DAW arrangiert und manipuliert wurden. Zusammen mit der Verwendung von virtuellen Instrumenten (VST-Instrumenten) sollte dies die Arbeitsweise sein, welche zu der Struktur der fertigen Produktionen führte. Eine Hauptvoraussetzung für die Eignung der InterviewpartnerInnen war eine Veröffentlichung auf einem Musiklabel (im In- und/oder Ausland) und Live-Auftritte in den vergangenen 2 Jahren (Stand 05/2018). Dies galt vor allem dem Ziel nachzuweisen, dass aktiv an elektronischen Musikproduktionen gearbeitet wurde und die KünstlerInnen somit Einfluss auf die österreichische Musiklandschaft haben.

Im Kontext dieser Arbeit wurde „elektronische Populärmusik“ als eine Zusammenfassung verschiedener Genres und Strömungen populärer elektronischer U-Musik/Tanzmusik/Clubmusik definiert. Diese Definition schloss Experimentalmusik, Klangkunst und Produktionen mit elitärem oder intellektuellem Charakter aus.

5.2 Auswahlprozess und Kontaktaufnahme

Das Auffinden der infrage kommenden InterviewpartnerInnen geschah durch Internetrecherche (Facebook, Blogposts, Label-Recherche) und Analyse der österreichischen Musiklandschaft (YouTube, Spotify, FM4 Charts, Eventanalyse) sowie diverser Musikzeitschriften.

Da die Liste der möglichen TeilnehmerInnen mehr als 10 Personen umfasste, wurde die Auswahl nach Verfügbarkeit und Interesse der MusikerInnen getroffen. Die InterviewpartnerInnen, welche für die Befragung ausgewählt wurden, mussten alle vorhergehend erläuterten Voraussetzungen erfüllen, um der Zielgruppe zu entsprechen, welche im Vorfeld definiert wurde. Diese Eingrenzung erlaubte es, Erkenntnisse über diese spezielle Zielgruppe und über das zu erforschende Feld zu erlangen. Im Zuge der Auswahl der InterviewpartnerInnen wurde nicht zwischen Geschlechtern unterschieden. Es wurde beobachtet, dass die weiblichen Vertreterinnen der Fokusgruppe einen deutlich kleineren Prozentsatz darstellen. Von 26 potentiellen InterviewpartnerInnen waren vier weiblich. Warum sich der weibliche Anteil im Bereich der Fokusgruppe so klein gestaltet, wäre ein interessanter Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen.

Die InterviewpartnerInnen wurden nach einer Überprüfung der Voraussetzungen telefonisch, per E-Mail oder über Facebook kontaktiert. Bestand Interesse, wurden die strukturellen Details geklärt und ein Termin für ein Treffen vereinbart. Die Interviewpartner wurden am Ende des Interviews dazu befragt, ob sie Interesse hätten, an einem Versuchsaufbau teilzunehmen. War ein Interesse vorhanden, wurde versucht, schnellstmöglich ein geeignetes Datum für die Versuchsdurchführung zu finden.

5.3 Inhalt der Leitfäden

Die Entwicklung des Leitfadens erfolgte mit Hilfe folgender Literatur:

„Praxisbuch - Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende“ Thorsten Dresing; Thorsten Pehl, 8. Auflage (2018), Eigenverlag, Marburg, ISBN 978-3-8185-0489-2

Die Gesprächsleitfäden befinden sich in voller Länge im Anhang dieser Arbeit. Die aufgezeichneten Interviews, deren Transkriptionen sowie die Inhaltsanalysen sind auf dem der Arbeit beigelegten Datenträger zugänglich.

5.3.1 Gesprächsleitfaden (a)

Der erste Gesprächsleitfaden diente vor allem dazu eine Grundeinschätzung darüber geben zu können, was bereits zu diesem Themenkomplex bekannt war, was in der Fokusgruppe unter „3D-Audio“ verstanden wurde und ob ein Meinungskonsens vorhanden war. Es wurde ermittelt, ob Technologien dieser Art einen ausreichenden Mehrwert für elektronische Populärmusik liefern könnten. Des Weiteren wurde erarbeitet, welche Vorbehalte die KünstlerInnen hinsichtlich besagter Konzepte haben und wie groß der Bedarf oder das Interesse an einem Einsatz dieser, im Zuge eigener Produktionen ist.

5.3.2 Gesprächsleitfaden (b)

Der zweite Leitfaden fokussierte sich vor allem auf die praktische Arbeit in dem Versuchsaufbau. Hierbei wurden Erfahrungen, positive und negative Aspekte erfragt. Zum einen wurde herausgefunden, wie die Teilnehmer eine Arbeit in der verwendeten 3D-Audio Umgebung beurteilen, zu anderen wie sich die subjektive Meinung nach einer Konfrontation geändert bzw. gefestigt hat. So konnten zuvor getätigte Aussagen revidiert werden oder aufgestellte Thesen bestätigt werden. Zusätzlich sollte diese Phase helfen, eine Prognose zu erstellen und konkrete Chancen bzw. Herausforderung aufzuzeigen.

5.4 Durchführung und Dokumentation

Die Interviews wurden persönlich geführt und mittels Audio-Aufnahmegerät dokumentiert. Um hierbei nicht gegen Persönlichkeitsrechte zu verstoßen wurde zu Beginn des Interviews eine mündliche Einverständniserklärung eingeholt, welche mitaufgezeichnet wurde. Die Aufzeichnungen mussten das Datum des Interviews, den Ort und den Namen der Beteiligten enthalten. Da es sich um leitfadengestützte Interviews handelte, wurden die Interviews nach den zuvor erstellten Leitfäden geführt. Die Reihenfolge der Fragen spielte dabei keine Rolle. Zusätzlich bestand die Möglichkeit für das Thema relevante Ad-hoc-Fragen zu stellen, welche nicht Teil des Leitfadens waren. Um das Gesprächsklima offener zu gestalten, wurde das Interview (mit Einverständnis der Gesprächspartner) in der Du-Form geführt. Als Richtwert wurde für die Interviewdauer eine Stunde festgelegt.

5.5 Transkription

Die Transkription der Interviews erfolgte selektiv nach dem semantisch-inhaltlichen System (Dresing & Pehl, 2018). Dieses wurde verwendet, da die Ergebnisse im Gesprächsinhalt verankert sind und demnach Aspekte der Prosodie wie Tonhöhenverläufe, Nebenakzente oder Sprechgeschwindigkeit keine zusätzlichen Ergebnisse liefern. Für die Arbeit irrelevante Aussagen wurden daher nicht transkribiert. Für die Arbeit relevante Aussagen oder Thesen wurden transkribiert und dementsprechend in die Arbeit eingebunden. Die Aufzeichnungen sind der Arbeit gemeinsam mit den Transkripten beigelegt.

Für die Transkription galten folgende Vorgaben (angelehnt an: Dresing, Thorsten/Pehl, Thorsten: *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 8. Auflage. Marburg, 2018):

1. Es wird wörtlich transkribiert.
2. Dialekt und Aussprache die nicht nach der Schrift erfolgen werden weitgehend und bestmöglich geglättet und an das Schriftdeutsch angepasst.
3. Stottern, abgebrochene Wörter und Wortwiederholungen werden nicht transkribiert.
4. Jede Aussage des Interviewers (I) bzw. des Befragten (B) werden gekennzeichnet und mit einer leeren Zeile getrennt.
5. Sätze denen die Vollendung fehlt werden mit dem Abbruchszeichen „/“ gekennzeichnet
6. Passagen welche vom Autor nicht transkribiert wurden werden mit „(...)“ versehen.
7. Eventuelle emotionale nonverbale Äußerungen werden in Klammern (zB.: Lachen) notiert, sollten sie zu dem inhaltlichen Gehalt der Frage beitragen.
8. Unverständliche Wörter werden mit „(unv.)“ notiert.
9. Fülllaute wie „hm, ähm“ werden nicht transkribiert, es sei denn sie stehen in Verbindung mit wichtigen Aussagen.

5.6 Auswertung und Interpretation

Um die Interviews korrekt auszuwerten wurde eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt. Nach Lamnek (2005) wurden die vorhandenen Daten verdichtet, wobei die irrelevanten Passagen verworfen und essentielle hervorgegeben wurden. Hierdurch konnte eine Komprimierung der Textmengen erreicht werden, während gleichzeitig Besonderheiten der Interviews herausgearbeitet wurden (Kuckartz, 2016). Die Ergebnisse der Interviews wurden nach Themenkomplex sortiert und auf Besonderheiten, Unterschiede und Zusammenhänge untersucht. Die Kategorienbildung war dabei auf dem Forschungsinteresse begründet und erfolgte in Bezugnahme auf die Forschungsfrage (Dresing & Pehl, 2018).

Die folgende generalisierende Analyse hatte das Ziel zu allgemeineren und theoretischen Erkenntnissen zu gelangen und orientierte sich an den vier Schritten nach Lamnek (2005) (Kuckartz, 2016):

1. Vergleich der Interviews auf Gemeinsamkeiten
2. Herausarbeiten der inhaltlichen Unterschiede
3. Analyse der Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf eventuell übereinstimmende Denkansätze oder einen Konsens innerhalb der Fokusgruppe
4. Die Ergebnisse der Analyse werden unter Bezugnahme auf die konkreten Einzelfälle dargestellt und erläutert

Die Kategorisierung des Inhalts erfolgte mittels Farbeinteilungen. Für jede Kategorie wurde eine eindeutige Farbe definiert. In den Transkripten wurden die sinntragenden Aussagen den jeweils passenden Kategorien zugeordnet indem diese mit der korrespondierenden Farbe hinterlegt wurden. So konnten für jede Kategorie Textstellen zusammengetragen werden, welche sich auf denselben Aspekt beziehen. Anschließend wurden diese verdichtete und weitergehend analysiert (Dresing & Pehl, 2018). Für die Einteilung wurde folgendes Farbschema verwendet:

Themenkomplex	Farbe
Begrifflichkeit und Bekanntheitsgrad	Blue
Einstellung zu dem Thema 3D-Audio	Green
Persönliches Interesse	Light Blue
Hürden und Chancen	Purple
Zukunftsausblick	Orange

5.6.1 Auswertung der zweiten Interviewphase

Da die zweite Interviewphase speziell auf den Versuchsaufbau bezogen war und sich vergleichsweise kürzer gestaltete, wurden die Daten einer etwas abweichende Auswertung unterzogen. Die Ergebnisse wurden dabei vor allem mit dem Versuch und der ersten Interviewphase in Beziehung gesetzt und analysiert. Eine Einteilung und Auswertung nach Themenkomplexen hätte auf Grund der Länge der Interviews und spezifischen Ausrichtung wenig Sinn gemacht. Bis auf diesen Unterschied wurden die Interviews gleich behandelt wie in der ersten Interviewphase.

5.7 Interviewpartner

5.7.1 Daniel Kohlmeigner

Daniel Kohlmeigner wurde in Oberösterreich geboren und lebt aktuell in Wien. Seit 2005 produziert er gemeinsam mit Gregor Ladenhauf unter dem Namen Ogris Debris elektronische Musik die sich zwischen Electro, House Hip-Hop und Jazz bewegt. Neben Releases auf Labels wie Compost Records (DE), Estrela (AUT), Rotary Cocktail (DE) und Affine Records (AUT) wurde das Duo 2010 in der Kategorie „Electronic/Dance“ für den österreichischen Musikpreis Amadeus nominiert. Die Live-Auftritte der letzten Jahre fanden beispielsweise in Wien, Graz, Salzburg aber auch europaweit in Ländern wie Griechenland, Belgien und Frankreich statt.

Homepage: <http://www.ogrisdebris.com/>²⁷

SoundCloud: <https://soundcloud.com/ogris-debris>²⁸

5.7.2 Daniel Hollinetz

Daniel Hollinetz wuchs in Salzburg auf und zog nach seinem Abschluss an der FH Salzburg nach Wien, wo er sich mehr seiner Musik widmete. Musikalisch bewegt er sich im Genre des Drum'n'Bass. Auch wenn seine musikalische Karriere erst kürzlich begonnen hat, kann er Releases auf Labels wie Moshbit Records (AUT), Fragmented Recordings (UK), T3K Recordings (DE), Culture Assault Recordings (IT) und Bad Taste Recordings (UK) verzeichnen. Dazu kommen Auftritte in Salzburg und in Wiener Szenecлубs wie dem Flex, der Grellen Forelle oder dem Camera Club.

Facebook: <https://www.facebook.com/manta.audio/>²⁹

SoundCloud: <https://soundcloud.com/manta-audio>³⁰

5.7.3 Peter Kalcic

Peter Kalcic stammt ursprünglich aus Slowenien/Kärnten. Sein Lebens- und Arbeitsmittelpunkt befinden sich aber in Wien. Unter dem Namen B.Visible rangiert sein Sound zwischen Hip-Hop, House und Funk. Neben Soloprojekten auf Labels wie Duzz Down San (AT) und Cosmonost (FR) produzierte er unter

²⁷ Abgerufen von <http://www.ogrisdebris.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

²⁸ Abgerufen von <https://soundcloud.com/ogris-debris>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

²⁹ Abgerufen von <https://www.facebook.com/manta.audio/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

³⁰ Abgerufen von <https://soundcloud.com/manta-audio>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

anderem auch Tracks für österreichische Hip-Hop Artists wie Kreiml & Samurai oder Crack Ignaz. Seine Live-Auftritte sind über die österreichische Veranstaltungslandschaft verteilt und beinhalten beispielsweise das FM4 Unlimited in Wien oder das Poolbar Festival in Feldkirch.

Facebook: <https://www.facebook.com/bvsbl/>³¹

SoundCloud: <https://soundcloud.com/b-vsbl>³²

5.7.4 Sixtus Preiss

Sixtus Preiss stammt aus Wien und ist fester Bestandteil der österreichischen Jazz- und Electronic-Szene. Als gelernter Schlagzeuger verbindet er in seinen elektronischen Produktionen geschickt verschiedene Welten wie Jazz und Elektronik genauso wie andere Einflüsse zu einem völlig eigenen Stil. Seine Kreationen veröffentlicht er auf Labels wie Affine Records (AUT) oder Humming Records (DE). Neben der Musikproduktion fertigt er auch handgemachte Mikrofone, Verstärker an und realisiert Sound-Installationen. Seine Live-Auftritte beinhalten bekannte Festivals wie das Wiener Popfest, das Electric Spring Festival oder das Grazer Elevate Festival.

Facebook: <https://www.facebook.com/sixtuspreissmusic/>³³

SoundCloud: <https://soundcloud.com/sixtus-preiss>³⁴

5.7.5 Benedikt Dengler

Benedikt Dengler stammt aus St. Pölten und bildet gemeinsam mit Rene Maierhofer das Drum'n'Bass Duo Dossa & Locuzzed, welches seit 2015 existiert. Neben Veröffentlichungen auf dem österreichischen Label Mainframe Recordings kamen Releases auf britischen Labels wie Dope Ammo Recordings oder Viper Recordings und Auslandsauftritte in Großbritannien, Australien und den Niederlanden hinzu. Neben Musikproduktionen und Live-Auftritten leiten die beiden einen monatlichen Musikpodcast.

Facebook: <https://www.facebook.com/dossalocuzzed/>³⁵

SoundCloud: <https://soundcloud.com/dossalocuzzed>³⁶

³¹ Abgerufen von <https://www.facebook.com/bvsbl/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

³² Abgerufen von <https://soundcloud.com/b-vsbl>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

³³ Abgerufen von <https://www.facebook.com/sixtuspreissmusic/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

³⁴ Abgerufen von <https://soundcloud.com/sixtus-preiss>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

³⁵ Abgerufen von <https://www.facebook.com/dossalocuzzed/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

³⁶ Abgerufen von <https://soundcloud.com/dossalocuzzed>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

6 Erste Interviewphase

Im Folgenden werden die durch die erste Interviewphase erlangten und ausgewerteten Ergebnisse präsentiert und ein erstes Fazit gezogen.

6.1 Begrifflichkeit und Bekanntheitsgrad

In den Interviews konnte die in Kapitel 1 und 4 angesprochene Definitionsschwierigkeit des Begriffes „3D-Audio“ und eine fehlende Standardisierung von Produktion und Wiedergabe erkannt werden. Dieser zu beobachtende Trend verstärkt das Erfordernis, nach einer genormten Definition und standardisierten Arbeitsprozessen. Unter anderem war die Meinung vorhanden, dass die Befragten mit diesen Ansichten nicht alleine sind und MusikerInnen und ProduzentInnen in dessen Umfeld ähnliche Meinungen vertreten.

„In meinem direktesten Umfeld habe ich das Gefühl, dass viele Musiker und Produzenten diese Einstellung wie ich sie habe zumindest im Ansatz teilen, glaube ich. Dass sie auch nicht genau wissen was es ist. Dass sie das auch ein Bisschen schwammig finden wie das begrifflich definiert ist.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 5)

Auch wenn kein allgemein durchgängiges Bewusstsein für den Begriff 3D-Audio beobachtet werden konnte, hatte jeder der Befragten zumindest eine Assoziation mit diesem. 3D-Audio wurde allgemein als eine Erweiterung eines Stereo-Konzeptes verstanden, wobei die jeweilig persönliche Definition unterschiedliche Ausprägungen hatte. Die Auffassung davon, ab wann von 3D-Audio gesprochen werden kann, wurde unterschiedlich eingestuft und reichte von Kopfhörerwiedergabe über Surround-Systeme bis hin zu konkreten Mehrkanalsystemen.

„Für mich ist es einfach eine Klangwelt die über das Links-Rechts-Panorama hinausgeht.“

„Räumliches, reales Hören und Orten von Schallquellen. Exaktes Orten im (...) dreidimensionalen Raum.“ (Hollinetz, 2018a, S. 1)

Tiefergehendes Wissen bezüglich der Technik war vor allem bei jenen vorhanden, welche durch persönliches Interesse oder Forschung bereits mit Mehrkanalsystemen in Kontakt gekommen waren. Bekannt war hier vor allem Ambisonics, jedoch auch, dass andere Konzepte und Systeme existieren.

„Ich habe einmal vor 5 Jahren eine Installation gemacht. Das hat sich „Soundkugel“ genannt. Das war eine hohle Kugel mit 1 Meter Durchmesser die unten aufgeschnitten war. Die ist im Raum gehangen und die Kugel hat 8 Lautsprecher eingebaut gehabt. Und man hat sich in die Kugel reinstellen können und die Lautsprecher haben einerseits von oben und von unten zum Ohr gespielt und rundherum. Und da habe ich das erste Mal mit Ambisonics in Berührung gekommen und habe mir das ein Bisschen ausgecheckt. (...) Das ist meine Haupterfahrung sozusagen mit 3D-Sound.“ (Preiss, 2018, S. 1)

„Ja. Durchaus. Wir haben ja in der FH in Graz, im Zuge des Studiums, über Ambisonics gelernt.“ (Dengler, 2018, S. 1)

An dieser Stelle eröffnet sich die Frage warum sich die Auseinandersetzung mit 3D-Audio scheinbar eher auf die Forschung und speziell technikaffine Menschen beschränkt. Ob dies ein Zufall ist, oder ob es hierfür erklärbare Belege gibt, ist ein interessanter Ansatz, der eventuell im Zuge von fortführenden Forschungen behandelt werden könnte. Jedoch gilt es auch zu erwähnen, dass im Falle von persönlichem Interesse recht schnell Informationen und technische Details eingeholt werden können.

„Ich habe immer die Idee gehabt ich hätte gerne (...) einen Helm den man sich aufsetzt und da sind ganz viele Lautsprecher drinnen und dann habe ich begonnen zu recherchieren wie man das machen könnte und dann ist Ambisonics relativ schnell gekommen.“ (Preiss, 2018, S. 2)

Bezüglich der Verbreitung war bekannt, dass 3D-Audio großflächig im Kino eingesetzt wird und bereits länger in der Game- und VR-Industrie Einsatz findet, sowie für Installationen verwendet wird. Die Verwendung in diesen Sparten wurde auch als sinnvoll und berechtigt empfunden. Bis auf Kinobesuche und künstlerische Installationen hatte keiner der Interviewten, vor allem im popularmusikalischen Kontext, bisher aktiv Kontakt mit dezidierten 3D-Audio Produktionen Dritter. Jedoch ist in der Fokusgruppe das Bewusstsein vorhanden, dass sowohl Produktionsstätten als auch konkrete Einsätze in der elektronischen Popularmusik gegeben sind.

6.2 Einstellung zu dem Thema 3D-Audio

Im Allgemeinen wurde 3D-Audio in der Zielgruppe eher als Unterhaltungs- bzw. Effektszenario und nicht als vollwertiges und ernstzunehmendes Produktions- und Wiedergabeformat gesehen.

„Es ist schon cool aber irgendwie, ich finde es ist ein Bisschen Spielerei, ein Bisschen überbewertet vielleicht sogar. (...) Das macht man dann ein- zweidreimal, tobt sich da voll aus und dann kriegt man mit, dass es eigentlich ein Bisschen obsolet ist und macht es glaub ich nicht mehr. Das wäre so meine Vermutung.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 2,3)

Trotz dieses Standpunktes wurde die Idee einer dreidimensionalen Wiedergabe als solche von allen Interviewpartnern als interessant empfunden, wobei nicht das Gefühl bestand, dass zusätzliche Lautsprecher in direktem Zusammenhang mit der Emotionsvermittlung auf das Publikum stehen. Ungeachtet dieser Negativaspekte stellten sich alle Befragten einen Einsatz im elektronischen Populärmusiksektor als ein realistisches Szenario vor. Als konkrete Einsatzzwecke wurde der Einsatz im Club und bei Live-Konzerten gesehen. Obwohl der Einsatz nicht unbedingt als nötig empfunden wurde, war dieser Gedanke ein interessanter, welcher bei einigen Produzenten eine positive Resonanz erzeugte. Vor allem in der Wechselwirkung mit korrespondierenden Visuals könnte so eine sehr starke Wirkung von Emotion vermittelt werden.

Wo es aber sicher mega spannend ist finde ich, ist bei Konzerten oder bei so Sachen. (...) Und im Idealfall natürlich total 1:1 perfekt verknüpft mit der visuellen Ebene. Das wäre emotional das Stärkste. Das Visuelle verbunden mit dem Klang halt. (...) Aber ich glaube, dass es jetzt nicht notwendig ist um die Emotion aufs Publikum zu übertragen. Ich glaube dazu reicht eine gute Stereo-Anlage.“ (Kalcic, 2018a, S. 1,2)

„Clubs die halt speziell dafür hergerichtet werden. Das wäre das was ich mir vorstellen könnte.“ (Hollinetz, 2018a, S. 2,3)

Künstlerseitig konnte beobachtet werden, dass sehr wohl Interesse für den Einsatz von 3D-Audio besteht, jedoch empfunden wird, dass auf dem Markt nicht direkt Bedarf vorhanden ist. Ein Punkt welcher hier aufgegriffen wurde ist die monetäre Komponente. Eine Gestaltung und Umsetzung eines neuartigen immersiven Audiosystems wurde als sehr kostspielig betrachtet und als nicht tragbar für einzelne KünstlerInnen empfunden. Deswegen sahen die befragten Produzenten eher einen potentiellen Einsatz durch kommerziell erfolgreiche Künstler mit einem hohen Budget als realistischstes Szenario.

„Also ich glaube die Künstler interessiert das.“ (Preiss, 2018, S. 7)

*„Es könnte sich durchaus im kommerziellen Bereich durchsetzen (...) Ich glaube, ich könnte es mir vorstellen, dass es (...) die kommerzielle Elite vorerst aufgreift.“
(Kalcic, 2018a, S. 6)*

Ein erneut erwähnter Punkt war hier auch die Standardisierung welche beispielsweise bei einem Einsatz im Clubbetrieb schwer zu tragen käme. Hier bestand die Angst, dass es zu wenig Reproduktionssysteme gäbe, welche den Klang exakt so wiedergeben könnten, wie er in der Produktion vorgesehen war.

„Wie soll ich sagen. Ich möchte auch gehört werden. Also es ist mir ehrlich gesagt zu wenig so eine Produktion aufzubereiten oder überhaupt eine Produktion zu starten auf einem 3D-System, wenn sich das keiner so anhören kann, wie ich es mir erdacht habe.“ (Dengler, 2018, S. 7,8)

In Bezug auf zukünftigen kommerziellem Erfolg waren sich die Befragten unsicher. Es bestand der Zweifel, ob die rein marketinggetriebene Verbreitung einen großflächigen Einsatz zur Folge haben könnte.

„Habe auch nicht das Gefühl, dass es so durch die Decke geht wie manche immer erwarten würden.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 2)

Eine Parallele die häufiger gezogen wurde ist, dass sich 3D-Audio ähnlich wie andere experimentelle Konzepte verhalten könnte (wie beispielsweise die von Native Instruments eingeführte Stem-Technologie) und nach kurzer Aufmerksamkeit der Szene wieder von der Bildfläche verschwindet.

*„Beim Auflegen oder so werden diverse neue Techniken vorgestellt, wo ich mir gedacht habe das könnte vielleicht adaptiert werden war dieses Stems-Format von Native Instruments, was aber dann letztendlich auch kein Schwein interessiert hat.“
(Kalcic, 2018a, S. 8)*

„Aber ja, das ist zwei Jahre her und interessiert kein Schwein. Und solche Geschichten gibt es ja ständig.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 7)

*„Bis man sicher sein kann, dass das nicht nur, eben, ein Trend ist oder ein Hype.“
(Hollinetz, 2018a, S. 4)*

Eine stark vertretene Meinung war, dass für Endkonsumenten durch die Technologien ein zu kleiner Mehrwert vorhanden sein oder die damit verbundenen Kosten zu hoch sein könnten. Eine andere These war, dass es für den Menschen angenehm ist, sich auf zwei Lautsprecher zu konzentrieren und durch eine Erhöhung der Lautsprecheranzahl eine Stresssituation und ein Gefühl des „ausgeliefert seins“ entstehen könnte (Kohlmeigner, 2018, S. 5).

„Ich glaube nicht, dass wir das bald alle zuhause haben werden. Und glaube auch nicht, dass die Leute so drauf abfahren, dass wir das bald alle überhaupt ständig haben wollen. (...) Ich glaube tatsächlich wirklich, dass es eigentlich sogar ganz angenehm ist, sich wo hinzusetzen und sich quasi den Rücken freizuhalten. (...) Dass das einen gewissen Wellness-Faktor hat, dass einen das irgendwie nicht stresst.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 3,5)

Jene die bereits mit einem Ambisonics-System gearbeitet hatten, vertraten eine positive Einstellung gegenüber diesem. Trotz dieser Einstellung würde sich die erneute Auseinandersetzung mit dieser Technik eher auf ein experimentelles Setting konzentrieren.

„Hat ganz cool funktioniert, würde ich aber über ein experimentelles Setting hinaus nicht verwenden.“ (Dengler, 2018, S. 2)

„Bei vielen Dingen hat es irrsinnig gut funktioniert.“ (Preiss, 2018, S. 1)

6.3 Persönliches Interesse

Die Grundgesamtheit empfand die Auseinandersetzung mit diesem Thema trotz der kritischen Einstellung als sehr interessant. Trotz der klaren Bevorzugung von Stereo-Systemen wurde die Idee, sich mit Schallquellen in einem anderen Kontext auseinanderzusetzen, als anregender Gedanke empfunden.

„Also mir ist Stereo einfach prinzipiell am sympathischsten für Musik. (...) Zum Ausprobieren. Ja klar. Sich selber Mal quasi in einem Spielplatz austoben oder sowas. (...) Weil ich mein interessant ist es.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 3,8)

„Ganz ehrlich gesagt bin ich mit Stereo auch schon ganz zufrieden. Es wäre auf jeden Fall (...) Ja wortwörtlich eine neue Dimension einfach. Es wäre schon einmal interessant und spannend halt auch.“ (Hollinetz, 2018a, S. 2)

„Ja, auf jeden Fall. Es würde mich voll interessieren.“ (Dengler, 2018, S. 7)

„Ich glaube ich hätte schon Spaß so früher oder später.“ (Kalcic, 2018a, S. 4)

„Es interessiert mich ur.“ (Preiss, 2018, S. 4)

Im Allgemeinen war zu beobachten, dass wenn technische Erklärungen von Konzepten oder Beispiele von Anwendungen in das Interview eingebracht wurden, durchwegs positiv reagiert wurde und das Interesse der Befragten geweckt werden konnte. Bei konkreten Beispielen von KünstlerInnen war vor allem das Interesse dafür vorhanden, wie es von RezipientInnen angenommen wurde.

„Ich finde die technische Seite des Ganzen eigentlich spannend. Ist auch sicherlich eine Anregung für mich, mir das ein bisschen genauer anzuschauen. Ich finde diese Geschichte die du vorher erzählt hast mit den Metadaten, das finde ich eigentlich hochinteressant.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 7)

Bei dem Gedanken, eine Produktion in einer 3D-Umgebung umzusetzen waren sich mehrere Befragten einig. Dies würde wahrscheinlich mit einem gesteigerten Arbeitsaufwand einhergehen und sie so sehr viel mehr Zeit für die Produktion und Mischung als für Stereo-Produktionen investieren müssten. Auch wenn dies als rein hypothetischer Fall betrachtet wurde, fanden bei den Befragten Überlegungen statt, welche kreativen Produktionstechniken in derartigen Produktionsformaten möglich wären.

„Also würde ich jetzt einen Track so Mischen würde ich ziemlich sicher sehr viel Zeit investieren.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 3)

„Ich sitze eh schon lange an meinen Tracks mit dem würde ich noch länger sitzen halt, das ist das Problem.“ (Kalcic, 2018a, S. 4)

„Es wird halt ziemlich arbeitsintensiv und aufwendig, wenn man das dann für so viele Lautsprecher optimiert. Ja, also arbeitsintensiv sicher, aber sicher spannend, wenn man es einmal ausprobiert.“ (Hollinetz, 2018a, S. 2)

Eine Anpassung der aktuellen Produktionsumgebung für 3D-Produktionen wurde als möglich und realistisch gesehen, jedoch auch als sehr kostenintensiv und aufwendig eingestuft. Für den Großteil würde eine Umstellung aus eigenem Antrieb eher nicht in Frage kommen, sondern müsste mit einem realen Projekt oder anderen externen Anreizen verbunden sein.

„Realistisch und möglich beides auf jeden Fall ja. Wieder nur eine Frage der Effizienz, meines Erachtens. Oder der/ Ja, nicht Kosten-Nutzen aber Effort-Nutzen sozusagen.“ (Dengler, 2018, S. 5)

„Da bräuchte ich dann doch einen Raum der groß genug ist und akustisch, müsste ich ihn ziemlich so herrichten, dass es dann funktioniert. Ja, außerdem halt sehr kostenintensiv wahrscheinlich dann. Aber theoretisch wäre es möglich, ja.“ (Hollinetz, 2018a, S. 3)

„Bei mir bräuchte es eine Zielvorgabe, also irgendwie ein klares Ziel, da muss ich hin, das will ich machen, das ist mein Konzept. Dann richte ich es mir im Studio so ein, damit ich dort hinkomme. Und ich weiß dann es wird irgendwo so wiedergegeben wie ich es im Studio gemacht habe. Das wäre dann für mich total realistisch und dann würde ich mir das auf jeden Fall antun. Aber so aus dem Nichts aus reiner Experimentierfreude wahrscheinlich nicht, ja.“ (Kalcic, 2018a, S. 6)

„Ich glaube, wenn ich einen Kompositionsauftrag hätte, dann wäre das überhaupt kein Thema.“ (Preiss, 2018, S. 9)

„Naja es müsste halt irgendein Anreiz da sein der entweder kreativ oder finanziell oder was auch immer oder einfach, dass der Markt das erfordert und man irgendwie erlebt hat, dass das eigentlich doch ziemlich geil ist. Also ich sag niemals nie.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 6,7)

Sollten 3D-Konzepten in Zukunft verstärkt eingesetzt werden, würden die Produzenten den Verlauf eine Zeit lang beobachten um zu evaluieren, ob diese Technik Potential besitzt und nicht einfach einen Hype durchlebt.

„Also ich würde erstmal warten und das kritisch betrachten und dann, wenn ich wirklich das Gefühl habe, ok es hat sich etabliert dann würde ich mich dem anpassen.“ (Hollinetz, 2018a, S. 4)

„Also ich bin normalerweise nicht sehr gerne einer der ganz ganz Early Adopters irgendwie. Ich schaue mir Sachen schon auch Mal ganz gerne an, weil es einfach so viel Quatsch gibt der ständig irgendwo ausprobiert wird von irgendwelchen Leuten und sind totale Eintagsfliegen. (...) Also würde ich mir sicher Mal eine Zeitlang anschauen.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 7)

Der Spezialfall, in dem die Auseinandersetzung mit Ambisonics aus eigenem Antrieb geschah, wurde vor allem darauf begründet, dass es die ideale Mischung aus den beiden Welten, Technik und Kreativität, darstellt.

„Ja, man kann so viele tolle Sachen machen. (...) Der Soundball ist auch die Verbindung aus meinen beiden Welten halt irgendwie. Das war irgendwie schön, sich mit Irgendwas technisch auseinandersetzen ohne, dass es rein technisch ist. Mir taugt das, mir da Wissen anzueignen. (...) Aber mit dem Soundball hat es irgendwie (...) geholfen die Verbindung zu dem Kreativen zu wahren.“ (Preiss, 2018, S. 5)

Der Frage gegenüber, sich im Zuge dieser Arbeit mit einem Mehrkanalsystem zu befassen, waren alle Befragten Musiker klar positiv eingestellt.

6.4 Hürden und Chancen

Als mögliche Hürden, welche gegen einen Einsatz sprechen, wurden von den Befragten vor allem der gesteigerte Arbeitsaufwand sowie zusätzliche finanzielle Ausgaben gesehen. Neben diesen wurde auch erwähnt, dass es softwareseitige Probleme geben könnte und das eine Auseinandersetzung mit diesem Themengebiet auf jeden Fall eine längere Einarbeitungsphase mit sich bringen würde.

„Das kommt immer darauf an ob man das wirklich will oder nicht aber das wäre ein großer technischer Aufwand. Ich vermute wir bräuchten andere Audiointerfaces für den Rechner. Wir bräuchten sicher andere Monitorcontroller, wir bräuchten unzählige neue Speaker und müssten das professionell im Studio verbauen lassen. Also das wäre finanziell ein riesen Aufwand.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 4)

„Ja die Hürden sind sicher irgendwo softwaretechnisch auch. Also ich bin noch nicht wirklich eingearbeitet in diese Materie. Von dem her weiß ich nicht genau wie ich das dann anstellen würde. Also 5.1 ist schon eine Herausforderung und 3D-Audio ist dann halt nochmal ein Schritt mehr. Wird eben, ja, doch sehr arbeitsintensiv sein. Man muss sich halt Einarbeiten in die Software und Produktion. Natürlich auch Hardware, dass man das ganze Equipment hat.“ (Hollinetz, 2018a, S. 4)

„Ich kenne das von meinem eigenen Producer-Workflow. Oftmals hat man einen komplexen Sound aus (...) sieben Layern, die man dann rendert auf einen Layer um das besser bearbeiten zu können. Und da jetzt noch einmal einen Schritt zurück zu gehen und sagen, die Layer muss ich ja auch irgendwie jetzt in meinem Raum/ In meinem 3D-Raum aufteilen, bin ich mir unsicher. Und weiters, so blöd es ist aber es ist auch immer (...) eine Geld-Frage. Für wen rentiert sich das und inwiefern. Und insofern schwer zu sagen, das heißt oft werden Ideen obwohl man es vielleicht aus künstlerischer Natur sehr gerne umsetzen würde einfach nicht umgesetzt, weil es nicht lukrativ genug sind.“ (Dengler, 2018, S. 3)

Zusätzlich wurde hinterfragt welche Auswirkungen der Einsatz für EndkonsumentInnen bzw. auf den Veranstaltungs- und Clubbetrieb haben könnte. In Bezug auf die Verwendung von Mehrkanalsystemen durch Endkonsumenten war großteils die Befürchtung vorhanden, dass ein zu hohes benötigtes technisches Wissen, Platzmangel und hohe Ausgaben, eine Adaption durch KonsumentInnen erschweren würde. Obwohl der Einsatz im Clubbetrieb als vorstellbar angesehen wurde, stehen dem Einsatz doch einige große Hürden im Weg. Der Einsatz würde mit Neuüberlegungen des konventionellen Stereo-Club-Konzeptes einhergehen. So müssten sich beispielsweise neue Gedanken bezüglich Bauform, Akustik und Technik gemacht werden.

„Bei Club-Musik reden wir darüber ob Stereo Sinn macht. Wirklich, also es ist echt so. Dann braucht man nicht drüber diskutieren ob man jetzt eine Dolby Atmos Anlage in einen Club baut oder so.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 4)

„Dass die Leute mit dem was sie kriegen eh schon zufrieden sind. Und oftmals, wenn du in einen Club gehst und man hört sich die Anlage da drin an und ich weiß gar nicht mehr was ich mir noch alles in die Ohren stecken soll damit es nicht so weh tut. (...) Für die Leute, sich hersetzten und stundenlang irgendwelche Konzepte punkto Audio jetzt überlegen/ Audio/Visuell sicher, das ist auch für die breitere Masse unter Anführungszeichen jetzt verständlich. Aber da jetzt soundaffin zu werden ist meines Erachtens zumindest diskutabel. (...) Dass es gemacht wird finde ich an sich schon lobenswert oder, wenn ich irgend sowas lesen würde oder eben damals die Veranstaltung, wie ich das gelesen habe, habe ich mir gedacht „Hey, cool, dass sich da wer echt hinsetzt und sich überlegt wie kann ich das verbessern, wie kann ich das Klangerlebnis noch einmal besser machen.“ Und ich würde es mir wahrscheinlich sogar anhören,“ (Dengler, 2018, S. 3,6)

„Also es wäre sicher spannend, wenn man das noch mehr in Clubs integriert. Das ist natürlich mehr Planung und der Raum spielt dann wahrscheinlich noch eine größere Rolle als er es sowieso schon tut. Nicht nur akustisch, sondern auch wie er/ Die ganze Bauform und so.“ (Hollinetz, 2018a, S. 3)

„Ich mein es ist ja heutzutage schon so schwierig, dass du im Club irgendwie so am Sweet Spot stehst bei einer Stereoanlage. Wie ist das dann beim 3D-Sound. Wie willst du jeden im Publikum mit dem 3D-Sound zufrieden, mäßig versorgen? Wahrscheinlich haben die 10 Leute die in der Mitte stehen dann so das totale Erlebnis. (...) Du bräuchtest wahrscheinlich eine extrem große Location und müsstest halt irgendwie einen Zwischenbereich definieren und nur so viele Leute reinlassen und rundherum ist halt viel Platz.“ (Kalcic, 2018a, S. 8)

„Ich würde mir vorstellen, dass die Bühne in der Mitte ist, das Publikum rundherum. Und ich glaube, wenn das eine gute Anlage ist wo jeder Lautsprecher quasi so viel hergibt wie ein Main-Lautsprecher, kann ich mir Alles vorstellen. (...) Das die Beats irgendwie herumwandern oder die Position wechseln. Also ich glaube (...) Wenn ein System dasteht, dass das irgendwie gut macht, ist alles möglich habe ich das Gefühl.“ (Preiss, 2018, S. 8)

Den Mehrwert betreffend wurde zugutegehalten, dass im Vergleich zu konventionellen Systemen ein intensiverer Sinneseindruck geschaffen werden könnte, bei welchem eine realere und immersivere Abbildung möglich ist. Dadurch würde gleichzeitig auch die Möglichkeit entstehen, eine intensivere Emotionalisierung der Inhalte und somit eine interessantere Wiedergabesituation für ZuhörerInnen zu schaffen. Zusätzlich ist es so eventuell möglich den Anspruch an das Ohr zu heben. Das könnte in Zukunft möglicherweise zu einer Umstellung der Hörgewohnheiten führen.

„Ein Reiz mehr. Es gibt sicher auch Dinge wo es künstlerisch ur wichtig und unersetzlich ist. Aber ich glaube es ist einfach ein Reiz mehr. Der dich vielleicht, wenn es gut gemacht ist, einfach mehr in diesen Raum reinholt.“ (Preiss, 2018, S. 9)

„Ein intensiverer Sinneseindruck einfach, wo man mehr ansprechen kann. (...) Ich mein es macht schon Sinn etwas hinter sich zu hören.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 5)

„Spannung. Ja, einfach mehr Möglichkeiten den Zuhörer/ZuhörerIn zu fesseln. Und, ja, einfach sozusagen (...) den Anspruch heben an das Ohr. Also jetzt nicht nur von links und rechts kommt etwas und es klingt halt nach Raum oder nicht nach Raum. Sondern auch wo klingt was und wo kommt es her, fliegt was über dich drüber? Und ja, einfach Spannung, dass es interessant bleibt.“ (Hollinetz, 2018a, S. 3)

„Ja es ist natürlich ein cooles Hörerlebnis. Das muss man natürlich auch zu gute heißen, dass wenn man davor sitzt und sich das anhört ist das natürlich ein ganz anderes Erlebnis als wenn man sich das nur über Kopfhörer oder über ein Paar Monitore anhören würde jetzt zum Beispiel. (...) Also mir ist es selber aufgefallen beim Anhören, dass ich mich echt herumdreh und irgendwie versuche zu lokalisieren wo die Sounds herkommen.“ (Dengler, 2018, S. 2)

Die Auswirkung auf die Kreativität wurde sowohl als positiv als auch negativ eingeschätzt. Während einerseits eine klar fördernde Auswirkung auf den kreativen Prozess vermutet wurde, bestand andererseits die Angst, durch die Überschwemmung mit neuen Möglichkeiten eingeschränkt zu sein. Vor allem könnte der Einsatz neue Möglichkeiten in Bezug auf Raum, Bewegung und Frequenzverteilungen erschließen.

„Also auf der einen Seite cool, weil man halt noch mehr Möglichkeiten hat. (...) Also, die mehr Möglichkeiten, dass ist eigentlich das was Vor- und Nachteile bringt, meines Erachtens. Weil mehr Möglichkeiten heißt einerseits, ich kann mich kreativ völlig auslassen, andererseits es ist schwieriger das Richtige zu finden natürlich.“ (Dengler, 2018, S. 6)

„Auf jeden Fall. Ich glaube schon. (...) Naja es gibt ja auch schon, wenn du im Stereo-Feld mit (...) zwei Sachen arbeitest. Wo ein Ding komplett konfus klingt und das Andere auch aber, wenn du sie im Stereo-Spektrum anordnest dann ergeben sie den vollkommenen Sinn. (...) Du könntest wirklich tatsächlich Sachen im Raum kursieren lassen. Das würde mich zum Beispiel interessieren. Zum Beispiel, dass dir ein Hall von einer Snare einfach wie ein Ball den Raum fliegt so. (...) Das könnte ich mir vorstellen was spannend wäre. (...) Das Movement würde mich total interessieren. Und ich glaube damit könnte man sich total kreativ spielen.“ (Kalcic, 2018a, S. 4,6)

„Vielleicht nicht so wie man es sich vorstellt aber ich glaube, dass man auf gewisse Probleme stoßen wird. Und man sich über gewisse Dinge Gedanken machen wird. Und daraus entstehen einfach neue Dinge.“ (Preiss, 2018, S. 9)

Ein angesprochener Aspekt war, dass die Wirkung einer gut funktionierenden Demonstration zur Folge haben könnte, dass diese Technik verstärkt adaptiert wird. Nahezu alle Befragten merkten an, dass die Meinung, die sie jetzt vertreten, schnell durch Positivbeispiele verändert werden könnte.

Die Arbeit mit dem Ambisonics-System wurde als positiv eingestuft, wobei die Flexibilität der Technik aufgegriffen wurde. Es wurde jedoch auch erwähnt, dass einige Produktionsprozesse nicht den gewünschten Effekt erzielten. Trotz dieser Schwierigkeiten entstanden bei der Auseinandersetzung mit diesen Problemen jedoch auch neue kreative Arbeitsweisen.

„Wenn du dann einfach einstellst, wo sitzen die Lautsprecher, wie weit sind sie zum Sweet-Spot entfernt und dann hat man da relativ schnell komponieren können. Und man kommt dann einfach auf andere Dinge. (...) Kreativ muss man damit umgehen was ist.“ (Preiss, 2018, S. 4)

Es kam auch zur Sprache, dass sich im Gegensatz zu Stereo-Produktionen neue Wege der Mischung und Produktion überlegt werden müssten. Populärmusik in dieses Format zu bringen wurde von einem Produzenten als eher problematisch gesehen, da laut seinen Beobachtungen die Kreativität bezüglich der Produktion relativ schnell erschöpft und sich auf die reinen Bewegungsabläufe von Schallquellen beschränkt.

„Ich tue mir insofern ein Bisschen schwer, (...) die Populärmusik in dieses Format zu bringen, bin ich auch bei der Soundkugel draufgekommen. Wenn man die Populärmusik in dieses Format bringt, dann (...) hört die Kreativität schnell auf bei den Menschen was sie damit machen. Und über bleibt dann oft nur eine Bewegung bei (...) hochfrequenten Elementen die eine Atmosphäre machen.“ (Preiss, 2018)

„Das wäre möglicherweise der erste Schritt, einfach einen Standard zu setzen. Sagen „So, pass auf mit dem System, wenn du deine Tracks auf die und die Weise mischst. Also eben!“ Das man vielleicht auch Richtlinien macht. Und wenn man das so aufzieht, dass das mehr oder weniger ein im Handumdrehen ein Track aufbereitbar ist. Sehe ich keinen (...) Stein im Weg mehr.“ (Dengler, 2018, S. 7)

Eine deutliche Chance wird in der Einzigartigkeit in Zusammenhang mit dem Einsatz von 3D-Konzepten gesehen. So bestünde beispielsweise die Möglichkeit, sich von anderen Musikern abzuheben, so ein Alleinstellungsmerkmal zu generieren und zusätzliche Umsätze zu erzeugen. Als Beispiel wurde die Produktion eines Konzeptalbums gebracht, wobei die Frage bestand, durch welches Medium der Vertrieb geschieht, was abermals den Fokus auf die Standardisierung eines Formats legt.

„Nachdem es momentan fast nichts gibt in diese Richtung, habe ich einen USP, auf jeden Fall, in erster Instanz.“ (Dengler, 2018, S. 5)

„Es gibt von Künstlerinnen und Künstlern immer das Verlangen, irgendetwas zu machen, was sie hervorhebt. (...) Meine Theorie, dadurch, dass CD-Verkäufe/ Das man da nicht mehr so viel Geld einnimmt sind die Live-Shows noch wichtiger. Und sich da irgendwie hervorzuheben von anderen ist ur wichtig. Und jedes Mittel recht. Und ich bin mir sicher, dass alle MusikerInnen oder alle ProduzentInnen bereit sind, wenn so ein System dasteht, dafür was zu machen (...) Früher haben sich die Leute halt einen anderen Anzug angezogen, haben sleek ausgeschaut und jetzt gibt es halt 3D-Sound. Also ich glaube, dass das nur eine Frage der Zeit ist.“ (Preiss, 2018, S. 8)

6.5 Zukunftsausblick

Als Zukunftsausblick wurden verschiedene Szenarien für realistisch betrachtet. Einerseits könnte der empfundene Effektcharakter eher als Erlebnis konsumiert werden. Andererseits bestünde die Möglichkeit, dass es beginnend bei der kommerziellen Elite, seinen Weg in die elektronische Populärmusik und Clubkultur finden könnte. Als möglich eingeschätzt wurde auch die Entwicklung und der Einsatz eines Konzeptes, welches die Fähigkeit besitzt eine Brücke zwischen der rein technischen und der kreativen Ebene zu schlagen. Dieses Konzept könnte die beiden Welten verbinden und so zu einer großflächigeren Entfaltung von 3D-Audio beitragen.

„Da gehe ich einmal hin, eine Stunde lang, zahl 8€, dass ich mir da jetzt irgendwie die Show anschau irgendwie und dann sag ich, ja okay war eh flashig, passt irgendwie, aber ich glaube nicht, dass wir das bald alle zuhause haben werden. Und glaub auch nicht, dass die Leute so darauf abfahren, dass wir das bald alle überhaupt ständig haben wollen.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 3)

„Es könnte sich durchaus im kommerziellen Bereich durchsetzen, dass dann halt, weiß nicht, so große EDM-Geschichten halt. Dann gibt's halt in London den Club in LA den Club. (...) Weil sich irgendwelche Clubs von anderen abheben wollen, irgendwelche Künstler. Auf Ibiza ein Club hat DAS, dann ist es der beste Club oder?“ (Kalcic, 2018a, S. 6)

„Ich glaube es müsste so sein, dass es irgendeine oder ein Lautsprecher-Nerd ein System hat und dann eine Pop-Ecke draufkommt, dass das ur super ist. Dass die das dann einfach irgendwo hin platzieren und dann irgendein fetter Pop-Act damit spielt. (...) Aber ich kann mir vorstellen, wenn irgendwer ein System herstellt, das stark genug ist um ein Pop-Konzert irgendwie abzubilden, dass das dann Verwendung findet. (...) Ich glaube aber nicht, dass alle Locations 3D-Sound installieren werden. Ich glaube das ist immer etwas Spezielles bleiben wird.“ (Preiss, 2018, S. 7,8)

Es wurde durchaus für möglich empfunden, dass falls Hürden wie Standardisierung, der Kostenfaktor und Produktionsbarrieren überwunden werden könnten, eine Anwendung realistisch wäre. Dafür würde es sowohl für ProduzentInnen als auch für KonsumentInnen mehrere zugängliche Orte benötigen, an denen die Möglichkeit besteht, sich mit dem Themenkomplex auseinanderzusetzen. Zusätzlich wurde für eine positive Verbreitung die Adaptierung durch alle beteiligten Sparten erachtet. So müssten sich sowohl Produzenten, Konsumenten, Veranstaltungsstätten und Equipment-HerstellerInnen an die veränderten Bedingungen anpassen.

„Es könnte, ja. Wenn es die Hürden überwindet die ich schon angesprochen habe. Und das Interesse wie gesagt groß genug ist. Aber es könnte interessant sein und vielleicht irrt sich ja der Vorbehalt sozusagen, dass es keinen interessiert. Vielleicht ist es genau das was die Leute dann begeistert und, ja, eben durch diese neue Dimension. (...) Es müssten einfach mehr zugängliche Orte sein, wo wirklich sowas installiert ist und die Leute müssen sich ein Bisschen damit beschäftigen können ohne, dass man jetzt selber das Gefühl hat, man muss sich damit beschäftigen. Vielleicht einfach, dass man so damit konfrontiert wird. Also es müsste einfach mehr Einrichtungen geben wo man das erleben kann.“ (Hollinetz, 2018a, S. 4)

„Ich glaub wichtig wäre dann halt mal zum Beispiel in meiner Heimatstadt ein Club wo das halt geht. Weißt du, so irgendwie. (...) Es wird sicher dann früher oder später Sachen geben die das dann extrem leichtmachen.“ (Kalcic, 2018a, S. 5,7)

„Ja, definitiv. (...) Es gibt ja schon (...) im experimentellen Rahmen solche Produktionen und auch Hearings wo sowas vorgespielt wird genau für solche soundaffinen Leute. Und im Endeffekt ist ja der Zeitgeist immer mehr und immer besser und immer cooler irgendwie. Das heißt man wird gar nicht darum herumkommen um da irgendwie noch mehr Lautsprecher aufzustellen. Es ist halt die Frage inwiefern sich alle danach richten wollen. Also da müssen ja Produzenten mitspielen, Clubs mitspielen. Das fängt ja an bei einem DJ-Mischer der einen Stereomischer hat. Da musst du ja da eigentlich schon ansetzen und einen (...) neuen state-of-the-art kreieren sozusagen.“ (Dengler, 2018, S. 6,7)

Klar war für alle, dass es konventionelle Stereo-Systeme in der Zukunft nicht komplett ablösen wird, aber durchaus die Möglichkeit bestünde, dass sich eine funktionierende Koexistenz entwickelt bei welcher beide Systeme ihren Platz und ihr Zielpublikum besitzen. Zusätzlich wurde der aktuell schon stattfindende Einsatz in Kinos und VR-Anwendungen weiterhin als realistisches Szenario gesehen. In diesem Zusammenhang wurde auch die Frage nach der Relevanz für KonsumentInnen in den Raum gestellt. Hier war die Sorge vorhanden, ob konsumentenseitig genug Nachfrage besteht.

„Ablösen? Nein, Nein! (...) Also ablösen kann ich mir nicht vorstellen. (...) Mit dem lässt sich sicher Kohle verdienen. Aber eben ablösen. Ablösen heißt ja auch quasi so fast wie quasi ausrotten. Also Stereo wird, nein, daran glaub ich echt nicht.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 5,6)

„Nein das glaube ich nicht. Weil wenn man überlegt. Jetzt ist gerade wieder ein Hype um Vinyl. Und du brauchst auf einer Vinyl (...) drei Nadeln und drei Systeme damit du einen 5.1-Sound machen kannst, mit der heutigen Technik. Und das wird einfach nicht consumerfreundlich umsetzbar sein. Und dementsprechend wird es Stereo einfach glaube ich, immer geben.“ (Dengler, 2018, S. 7)

Eine andere empfundene Möglichkeit ist die Entwicklung von Algorithmen, welche es ermöglichen dreidimensionalen Klang aus Stereosignalen zu generieren und so den Einsatz von zusätzlichen Lautsprechern überflüssig machen.

„Ich könnte mir nur vorstellen, dass vielleicht, irgendwelche Algorithmen kommen, die so gut und so stark sind, dass sie das gar nicht mehr erfordern, dass man da selber beim Produzieren das alles irgendwie 3D-mässig aufteilt.“ (Kohlmeigner, 2018, S. 6)

„Ich kann mir vorstellen, dass es irgendwann mal (...) numerisch möglich ist einfach zwei Lautsprecher zu benützen und zu wissen wie groß ist der Raum, was sind die Abmessungen, wie reagiert der Raum dann mit zwei Lautsprechern oder irgend so einem Stereo-System über Phasen sowas herzustellen. Dass du sagen kannst der Sound soll von da oben kommen und der Algorithmus rechnet sich das aus. (...) Sowas könnte ich mir vorstellen. Also wenn da die Technik noch einen Schritt weitermacht, dann glaube ich, ist es realistisch.“ (Preiss, 2018, S. 11)

6.6 Fazit

Ein generelles Fazit welches gezogen werden kann ist, dass innerhalb der Fokusgruppe keine allgemeine Definition des Begriffes 3D-Audio vorhanden war. Trotz dem Kontakt, welche einige Interviewten durch Produktion, Lehre oder durch die Mainstream Medien hatten, kristallisierte sich keine übereinstimmende Meinung darüber heraus, was eigentlich darunter verstanden wird. Im Allgemeinen wurde es kollektiv eher für den Effekteinsatz und nicht als ernstzunehmende Produktionstechnik gesehen, was eventuell auch auf die Definitionsschwierigkeiten und den fehlenden Wissenstransfer aus der Forschung zurückgeführt werden könnte. Eine andere Begründung wäre, dass eine Erweiterung eines Stereo-Systems generell nicht als nötig empfunden wird, um Emotionen zu transportieren. Außerdem bestand die Einschätzung, dass es von Seite der RezipientInnen nicht unbedingt verlangt wird und im Gegenteil eventuell eine zu große Reizüberflutung darstellen könnte.

Dem gegenüber stand jedoch auch ein klares Interesse bezüglich Techniken dieser Art. Ergänzt wurde dieses Interesse durch die Vorstellung, dass der Einsatz im elektronischen Populärmusiksektor als realistisch empfunden wurde. Auch wenn hierfür einige Hürden überwunden werden müssten, war der Einsatz vor allem in einem Live-Kontext für fast alle vorstellbar. Im Gegensatz dazu wurde der Einsatz im Rahmen von DJ-Sets in einem Club-Kontext zwar als möglich, aber auf Grund der Hürden als relativ unwahrscheinlich empfunden. Eine Meinung die alle teilten, war jene, dass ein Einsatz zusätzliche Kosten mit sich bringt, welche für einzelne KünstlerInnen vermutlich untragbar wären.

Im Kontext der Verwendung von 3D-Audio für eigene Produktionen waren sich alle Befragten einig, dass es höchstwahrscheinlich eine Steigerung des Arbeitsaufwands zur Folge hätte. Des Weiteren wurde ersichtlich, dass für einen Einsatz im Zuge von persönlichen Projekten einfaches Interesse nicht ausreichen würde. Vielmehr müsste es an ein spezifisches Projekt gekoppelt sein, welches einen zusätzlichen Anreiz liefern könnte. Wäre dieser vorhanden, wäre auch die Umstellung der Produktionsumgebung vorstellbar. Neben der Anpassung der Produktionsumgebung wurde auch erwähnt, dass sich durch eine verstärkte

Adaption höchstwahrscheinlich auch die Art und Weise wie Musik produziert wird, ändern würde.

Es wurde außerdem diskutiert, wie sich der Einsatz von 3D-Audio auf die eigene Kreativität und Arbeitsweise auswirkt. Dabei könnte durch die Generierung von neuen Ausdrucksformen ein positiver Effekt erzielt werden. Andererseits war die Befürchtung vorhanden, dass eine massive Zunahme von neuartigen Möglichkeiten auch Überforderung zur Folge haben könnte.

Die Zukunft betreffend wurde angezweifelt, ob sich diese Techniken bewähren oder nach einem Hype wieder abflachen würden. Auch deswegen würde ein Großteil der Interviewten die Entwicklungen eine Zeit lang verfolgen, um festzustellen, ob sich eine Umstellung sich lohnen würde. Trotz dieser kritischen Zukunftsaussichten waren sich alle einig, dass durch 3D-Audio auch die Möglichkeit bestünde eine intensivere Sinneserfahrung zu generieren und so neue Möglichkeiten für RezipientInnen zu schaffen. So wäre es beispielsweise möglich, dass 3D-Audio alleine für Unterhaltungserlebnisse eingesetzt werden könnte. Für möglich empfunden wurde auch, dass sich ein gut funktionierendes System durchsetzt, welches die optimalen Grundvoraussetzungen für 3D-Produktionen liefert. Für eine positive Verbreitung wäre es jedoch sehr wichtig, zugängliche Umgebungen zu schaffen, in denen es sowohl ProduzentInnen als auch KonsumentInnen ermöglicht wird, sich mit diesem Themenkomplex zu beschäftigen. Von einer ganzheitlichen Ablösung konventioneller Stereo-Systeme war keiner der Befragten überzeugt.

7 Versuchsprotokoll

Derzeit gibt es keine alleinstehende standardisierte Produktionsumgebung für die Erstellung von 3D-Audio Inhalten. Vielmehr sind verschiedene Ansätze und Konzepte vorhanden zwischen denen gewählt werden kann. Besonders in Kombination mit elektronischer Populärmusik gibt es zwar einige verzeichnete Anwendungen, jedoch keine genormten Arbeitsabläufe oder Gestaltungskriterien. In dem prototypischen Versuchsaufbau wurde eine Produktions- und Wiedergabeumgebung konzipiert, welche aus 21 Lautsprechern besteht und eine auf dem Boden abgeschnittene Kugel aufspannte. Für die Spatialisierung wurde das Ambisonics-Verfahren gewählt. Ziel des Systems war die Möglichkeit, Quellen in dem vorhandenen 3D-Raum frei zu bewegen und zu gestalten. In diesem konnten sowohl Mono- und Stereo-Files als auch Ambisonics-Signale verwendet werden, wobei sich dieser Versuch auf erstere konzentrierte. Für das Systemdesign wurde vor allem auf einfache Umsetzbarkeit, die kostengünstigste Variante und eine intuitive Bedienung geachtet.

Von den fünf befragten Interviewpartnern wurden jene ausgewählt, welche bisher keinerlei Erfahrung mit der Arbeit in 3D-Audio Umgebungen hatten (Daniel Kohlmeigner, Daniel Hollinetz, Peter Kalcic). So hatten alle Teilnehmer dieselben Ausgangsbedingungen. Die drei Probanden wurden mit der Arbeit in dem konzipierten Mehrkanal-Audiosystem konfrontiert. Vor der Teilnahme wurden sie instruiert keine vorproduzierten Projekte mitzunehmen, sondern eine Auswahl an Samples. Durch diese Restriktion wurde ein Vergleich zwischen dem Beginn einer Produktion in einem Stereo-System und dem vorhandenen Mehrkanal-System simuliert. Durch die Gestaltung auf diese Weise konnte unter anderem untersucht werden, welchen konkreten Einfluss das gewählte Konzept auf die Produktionsweise hat. Für die aktive Arbeit wurde ein Zeitlimit von vier Stunden vorgegeben. So hatte jeder Teilnehmer den selben Zeitraum sich mit dem Konzept und der Produktionsumgebung auseinanderzusetzen.

Die Versuchsdurchführungen fanden an folgenden Tagen statt:

Daniel Hollinetz: 14.12.18, 14:07 - 18:07

Peter Kalcic: 18.12.18, 18:30 - 20:36

Daniel Kohlmeigner: 06.01.19, 14:54 - 18:10

7.1 Fragestellung

Durch den Versuchsaufbau wurden drei Fragen behandelt die zur Beantwortung der Forschungsfrage beitrugen:

- *Wie praktikabel ist die Arbeit in einer vordefinierten Mehrkanal-Lausprecheranordnung?*
- *Stellt der Einsatz eines 3D-Audio Konzeptes für den Einsatz im Zuge von elektronischen Populärmusikproduktionen in der Zukunft ein realistisches Szenario dar?*
- *Inwiefern wird die subjektive Meinung bezüglich des Begriffes „3D-Audio“ durch eine Konfrontation mit dem System verändert?*

7.2 Nachbereitung

Direkt nach der Teilnahme an dem Versuchsaufbau wurde die zweite Interviewphase durchgeführt, welche sich auf die Arbeit in dem vorgelegten Produktionsumfeld bezog. Abschließend wurden die Antworten analysiert und in Beziehung zu dem Versuchsaufbau und der ersten Interviewphase gesetzt. Es wurde versucht herauszufinden ob ein Realnutzen für die Zielgruppe gegeben ist und wie groß der Bedarf und das Interesse an einer Arbeit in dem Forschungsfeld ist. Abschließend wurde eine Zukunftsprognose gegeben und mögliche Chancen diskutiert.

7.3 Technisches Setup des Versuchsaufbaus

Als Produktionsrechner wurde ein iMac (Retina 5K, 27-inch, Late 2014, 3,5 GHz Intel Core i5, 16GB RAM) mit macOS Sierra (Version 10.12.6) verwendet. Als Produktionsraum wurde ein für StudentInnen zugängliches Audiostudio verwendet. Dieses befand sich im 3. Stock der FH St. Pölten (Matthias Corvinus-Straße 15, 3100 St. Pölten)³⁷. Das Studio bestand aus einem akustisch behandelten Raum in dem sich ein permanenter von FH-MitarbeiterInnen konzipierter Klangdome befand. Dieser Dome bestand aus drei Ebenen. Die oberste Ebene formten sechs Genelec 8020A Lautsprecher die ringförmig angeordnet waren und einem Genelec 8040A als VoG. Der mittlere Ring befand sich auf Ohrenhöhe (126cm) und setzte sich aus fünf Genelec 8040A und zwei Neumann KH120A (Azimuth: +/- 45°) zusammen. Der unterste Ring welcher sich

³⁷ Vgl. Beschreibung der Räumlichkeiten auf der Homepage der Fachhochschule, abgerufen von <https://www.fhstp.ac.at/de/campus/labore-und-ausstattung/audio-labor>, letzter Aufruf am 11.01.2019.

auf Bodenhöhe befand, bestand aus zwei Genelec 8040A und zwei Genelec 8020A. Ergänzt wurde dieses System durch zwei Subwoofer (Genelec 7060B & Genelec 1092A), wobei das korrespondierende Signal gesplittet und auf beide Subwoofer aufgeteilt wurde. Die Lautsprecher, welche an einem speziellen Rig und Stativen befestigt waren, spannten eine am Boden abgeschnittene Kugelfläche auf. Dies machte es möglich, ProduzentInnen aus allen Raumrichtungen zu beschallen (siehe Abb. 55). An dieser Stelle gilt es zu erwähnen, dass in einer idealen Wiedergabesituation idente Schallstrahler verwendet werden sollten, welche den gleichen Frequenzgang, dieselben Membrandurchmesser sowie dieselben Laufzeiten besitzen. Durch die hohe Flexibilität, was die Wiedergabe von Ambisonics-Signalen betrifft, wurden im Anwendungsfall des Versuches in Bezug auf diesen Faktor, Abstriche zugunsten der räumlichen Auflösung gemacht. Für das Binaural-Monitoring wurde ein AKG K182 verwendet.

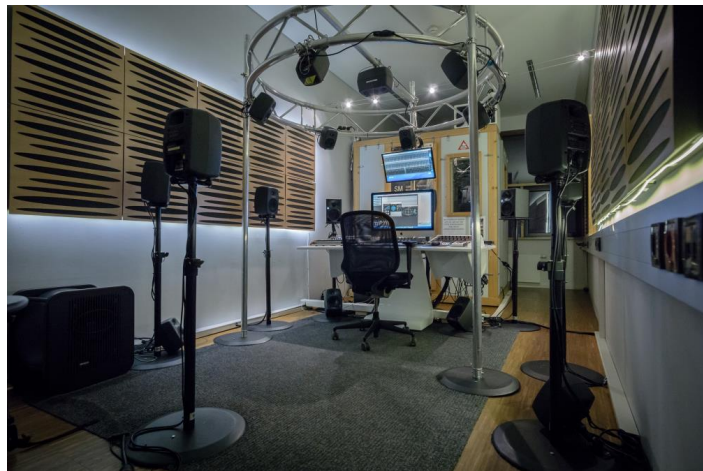


Abbildung 55: Versuchsumgebung und Lautsprecheraufstellung (Fotografie durch den Autor, 2018)

Für die Verwendung von virtuellen Instrumenten durch die Steuerung mit MIDI war ein Arturia Analog Experience The Player 25 Keyboard Controller vorhanden, welcher mittels MIDI-Kabel mit einem MOTU micro lite USB MIDI-Interface verbunden war. Als Audio Interface wurde ein RME Fireface UFX+ verwendet. Da dieses nur über acht analoge Ausgänge verfügte, wurden die verbleibenden Lautsprechersignale über die zwei vorhandenen ADAT-Ausgänge ausgegeben. Die ADAT-Signale verliefen in zwei getrennte Behringer Ultragain Digital ADA8200 Audio Interfaces. Von dort aus bespielten sie die Lautsprecher. Zur Kontrolle der Abhörlautstärke wurde ein RME ARC USB-Monitorcontroller verwendet, welcher direkt mit dem RME Fireface UFX+ verbunden war. Um Verwirrungen vorzubeugen, wurden die Hardwarekanäle in Reaper mittels aliasing/remapping den Softwarekanälen 1-22 zugewiesen.

Dadurch ergab sich die Folgende Kanalbelegung:

Lautsprecherposition	Softwarekanal	Hardwarekanal
Neumann L	1	1/Analog 1
Neumann R	2	2/Analog 2
Center	3	3/Analog 3
LFE	4	4/Analog 4
Li Seite	5	5/Analog 5
Re Seite	6	6/Analog 6
Li Hinten	7	7/Analog 7
Re Hinten	8	8/Analog 8
Rig VL	9	15/ADAT 1
Rig VR	10	16/ADAT 2
Rig Center	11	17/ADAT 3
Rig Hinten	12	18/ADAT 4
Rig HL	13	19/ADAT 5
Rig HR	14	20/ADAT 6
VoG	15	21/ADAT 7
Boden VL	16	23/ADAT 9
Boden VR	17	24/ADAT 10
Boden HL	18	25/ADAT 11
Boden HR	19	26/ADAT 12
Center Hinten	20	27/ADAT 13
HP Playback L/R	21/22	Phones 11/Phones 12

Tabelle 4: Kanalbelegung³⁸

³⁸ Vgl. Flussdiagramm des Audiostudios C (Zugänglich auf dem der Arbeit beigelegten Datenträger), abgerufen von <https://verleih.fhstp.ac.at/upload/5b03e0cab545e.pdf>, letzter Aufruf am 11.01.2019.

Um die korrekten Daten für den Decoder zu erhalten und somit die für das vorhandene Setup ideale Wiedergabe zu gewährleisten, wurden die Positionsdaten der Lautsprecher ausgemessen. Um die einheitliche Lautstärke aller Schallstrahler zu erhalten, wurden die einzelnen Lautsprecher mithilfe von pinkem Rauschen und einer Mittelwertmessung mit einem Digital Sound 8922 Messmikrofon eingemessen.



Abbildung 56: Messsetup an der idealen Abhörposition (Fotografie des Autors, 2018)

Gain-, Winkel- und Entfernungsmessungen der einzelnen Lautsprecher erfolgten an der idealen Hör- bzw. Arbeitsposition des Setups. Diese befand sich in einer Höhe von 126cm in einer senkrechten Linie unter dem VoG. Diese Höhe entsprach der Position der Hochtöner in der Horizontalebene.

Die Daten der Messung welche für die Erstellung des Decoders verwendet wurden lauten wie folgt:

Lautsprecherposition	Azimuth	Elevation	Radius
Neumann L	40°	0°	136cm
Neumann R	-40°	0°	139cm
Center	0°	5°	141cm
Li Seite	-90°	0°	106cm
Re Seite	90°	0°	129cm
Li Hinten	-136°	0°	155cm
Re Hinten	136°	0°	168cm
Rig VL	52°	41°	102cm
Rig VR	-52°	41°	100cm
Rig Center	0°	41°	99cm
Rig Hinten	180°	41°	106cm
Rig HL	121°	41°	106cm
Rig HR	-121°	41°	103cm
VoG	0°	90°	78cm
Boden VL	53°	-48°	146cm
Boden VR	-53°	-48°	144cm
Boden HL	134°	-48°	183cm
Boden HR	-134°	-48°	198cm
Center Hinten	180°	0°	168cm

Tabelle 5: Messdaten der einzelnen Schallstrahler

7.4 Software

Als Produktionsformat wurde Ambisonics verwendet. Diese Auswahl lässt sich damit begründen, dass das Ambisonics-Format verstärkt in der aktuell zu beobachtenden VR- und 360°-Boom Anwendung findet (Facebook360 Spatial Workstation, YouTube, Zoom Ambisonics Player) (Ward, 2017). Zudem ist zu beobachten, dass zunehmend auch Ambisonics-Hardware wie Mikrofone, von bekannten Herstellern (siehe Kapitel 4.3.4) auf dem Markt angeboten werden. Als Produktionsumgebung wurde die DAW „Reaper“ der Firma Cockos verwendet in der mit den VST-Plug-Ins des IEM (Institut für Elektronische Musik und Akustik) Graz gearbeitet wurde. Die Verwendung in dieser Kombination beruhte einerseits auf Kompatibilitätsgründen, so wird auf der Entwicklerseite darauf verwiesen, dass eine Verwendung der Plug-Ins mit der DAW „Reaper“ empfohlen wird, da hier im Gegensatz zu anderen DAWs eine Anzahl von 64 Kanälen (Ambisonics der 7ten Ordnung) pro Audiotrack möglich ist. Andererseits war diese Auswahl im Budget verankert. Faktisch sind beide Programme kostenfrei. So können die Kosten für ein mögliches Upgrade ausgehend von einem Stereo-System auf die Hardware limitiert werden. Zusätzlich wurde für das Audiorouting und die Kontrolle des RME Fireface UFX+ die Software TotalMix FX (v 1.43) von RME verwendet.



Abbildung 57: Logo der IEM Plug-In Suite (links) und Cockos Reaper (rechts) (Cockos, Inc., 2018; Rudrich, 2018)

7.4.1 IEM-Plug-In Suite

Die IEM-Plug-In Suite besteht aus einer Sammlung von 18 Open-Source VST-Plug-Ins, welche von MitarbeiterInnen und StudentInnen des IEM-Graz entwickelt wurden und für die Betriebssysteme macOS, Windows und Linux zur Verfügung stehen. Die Plug-Ins sind kostenfrei und erlauben, in Kombination mit einer DAW, die Arbeit mit/für Ambisonics bis zu 7ter Ordnung. Im Vergleich zu ähnlicher Freeware fiel vor allem die einfache intuitive Bedienung und die gute Dokumentation der einzelnen Plug-Ins ins Gewicht. Für den Versuchsaufbau wurde Version v1.8.1 verwendet, welche am 11.11.2018 veröffentlicht wurde. Im Folgenden werden die einzelnen Plug-In Module vorgestellt und ihre Funktionen kurz beschrieben.

Grundlegend sind alle Plug-Ins nach einem ähnlichen Schema aufgebaut, besitzen dasselbe Design und ähnliche Kontrollregler. In den meisten Fällen befindet sich in der linken oberen Ecke eine Information/Auswahl des Input-Formates und in der rechten oberen Ecke die des Output-Formates. Je nach Funktion des Plug-Ins, ist das Input- bzw. Output-Format fixiert, variabel oder nicht vorhanden. Die Kontrolle der Parameter erfolgt meist in bekannter Manier mittels Potentiometer, Checkboxes und Dropdownmenüs. Soll eine Quelle in der Ambisonics Domäne im Raum positioniert werden, geschieht dies meist über den sphärischen Panner (oder alternativ durch Potentiometer). Dieser hat die Form eines Kreises und stellt die Aufsicht auf eine Kugel dar. Zwecks Orientierung sind vier Raumrichtungen beschriftet. Die zu kontrollierende Quelle wird dabei durch einen farbigen Punkt dargestellt. Ist der Punkt farblich voll ausgefüllt, bewegt sich die Quelle in der oberen Hemisphäre. Wird die Quelle über den Rand des Kreises hinausbewegt, bleibt nur der Rand des Punktes im Ursprungszustand vorhanden während die Füllfarbe an Luminanz verliert. Nun bewegt sich die Quelle in der unteren Hemisphäre.

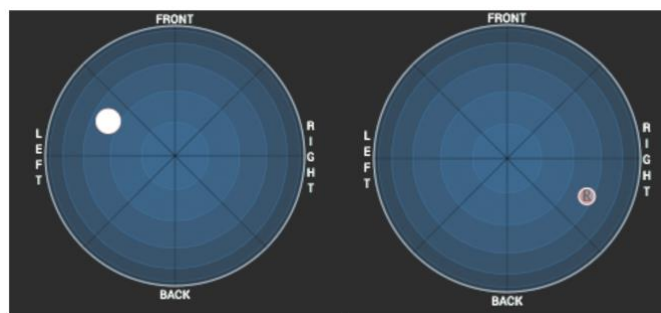


Abbildung 58: Sphärischer Panner mit Quelle in der oberen (links) und unteren Hemisphäre (rechts) (Screenshot durch den Autor, 2018)

Der Mittelpunkt des Kreises kennzeichnet die jeweils höchste bzw. niedrigste Position auf der Kugeloberfläche. Wird ein Doppelklick auf den Kreis ausgeführt ändert sich die Darstellung der Elevation zu einer linearen Darstellung um eine höhere Genauigkeit am Horizont zu erhalten. Bei dieser linearen Darstellung repräsentiert ein Ring 15° Elevation.

Um die Probanden nicht zu überfordern und zu verwirren werden nicht alle Plug-Ins vorgestellt, sondern nur jene welche für die aktive Arbeit benötigt werden.

7.4.1.1 AllRADecoder

Der *AllRADecoder* wird für das Design von Ambisonics-Decodern verwendet. Hierbei können Decoder für jedes willkürliche Lautsprecher-Layout generiert und als JSON-File abgespeichert werden. So kann der generierte Decoder auch in anderen Plug-Ins verwendet werden. Der Decoder wird automatisch auf den eingehenden Ambisonics Audio-Stream angewandt, sodass er direkt in einen Decoder-Track des Projektes eingefügt werden kann (Rudrich, 2018).

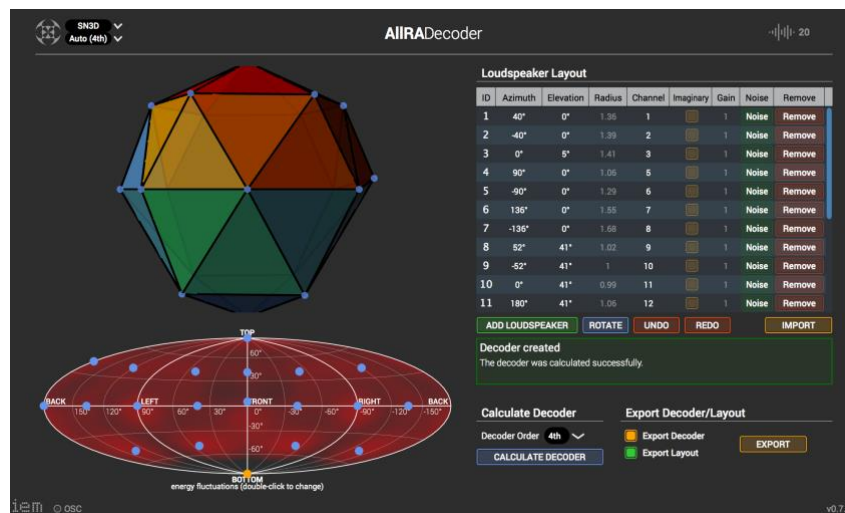


Abbildung 59: AllRADecoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.2 BinauralDecoder

Mit dem *BinauralDecoder* kann ein Ambisonics Signal in ein binaurales Kopfhörersignal konvertiert werden. Die dabei verwendeten HRTFs stammen von einem Neumann KU 100 Kunstkopf. Falls im Dropdown Menü vorhanden, kann eine an das verwendete Kopfhörermodell angepasste Equalisierung ausgewählt werden. Im Gegensatz zu ähnlichen Decodern für die Kopfhörerwiedergabe werden hier keine virtuellen Lautsprecher verwendet, sondern die Ambisonics Signale direkt in binaurale Kopfhörersignale umgewandelt. Dies ist durch die Verwendung von vorab bearbeiteten HRTFs möglich. Bei der Umsetzung wird priorisiert, dass der originale Frequenzgang der HRTFs bestmöglich beibehalten wird, auch wenn sie im Zuge von Ambisonics verwendet wird (Rudrich, 2018).

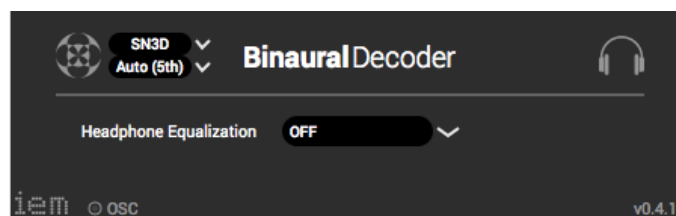


Abbildung 60: BinauralDecoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.3 *CoordinateConverter*

CoordinateConverter ist ein hilfreiches Plug-In welches es ermöglicht Parameter einer sphärischen Repräsentation (Azimut, Elevation, Radius) in kartesische Koordinaten (XYZ-Position) umzuwandeln und vice versa. Im Zuge dessen werden keine Audiosignale bearbeitet. Das Tool dient lediglich dafür Daten zwischen den beiden Schreibweisen zu konvertieren (Rudrich, 2018).

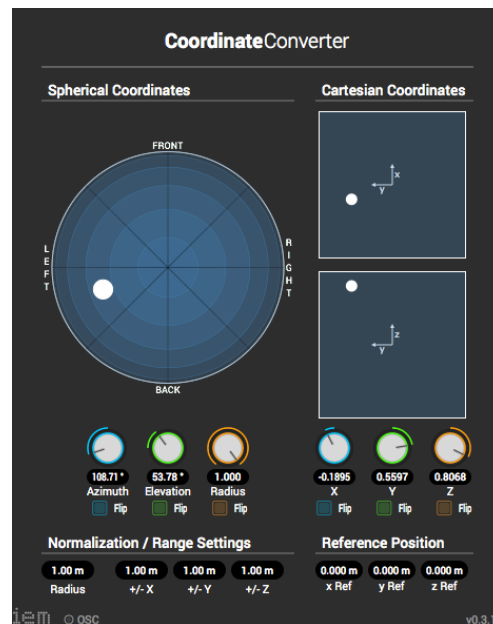


Abbildung 61: *CoordinateConverter* Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.4 *DirectionalCompressor*

Der *DirectionalCompressor* stellt einen Ambisonics Kompressor/Limiter dar, welcher es möglich macht die Dynamik von verschiedenen räumlichen Regionen zu beeinflussen. So ist es beispielsweise möglich, eine Quelle mehr zu komprimieren als die restlichen Signale. Mit dem sphärischen Panner kann eine räumliche Maske erstellt werden welche der Kompressor entweder komprimiert oder vice versa bei der Kompression ausspart. Im Modul sind zwei Kompressoren vorhanden, bei welchen zwischen drei Input bzw. Zuweisungen (Full, Masked, Unmasked) gewählt werden kann (Rudrich, 2018).

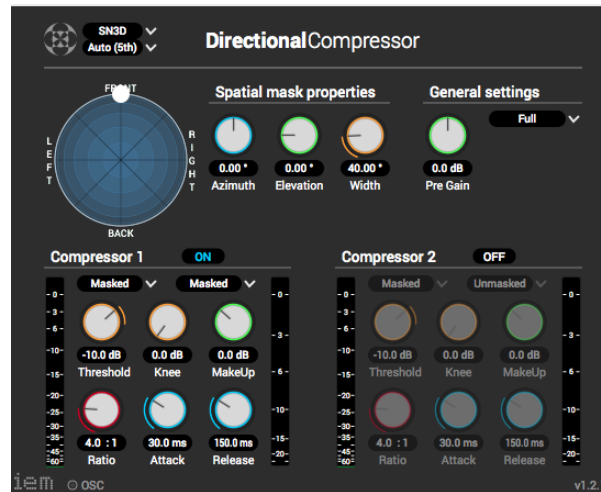


Abbildung 62: DirectionalCompressor Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.5 DirectivityShaper

Durch den *DirectivityShaper* wird das Mono-Eingangssignal in vier separate Frequenzbänder aufgeteilt und farblich kodiert. Jedem dieser Frequenzabschnitte kann eine eigene Gewichtung und eine unabhängige Ambisonics-Ordnung zugewiesen werden. Die Ordnung mit der jedes Band enkodiert werden kann, ist dabei auf die Output-Ordnung beschränkt. Zusätzlich ist es möglich jedes Signal unabhängig voneinander räumlich zu platzieren. Für jedes Band kann aus vier verschiedenen Filtern gewählt werden (All-Pass, Low-Pass, Band-Pass, High-Pass) und stufenlos zwischen unterschiedlichen Ordnungen und Gewichtungen (Basic, maxRE, in-phase) gewählt werden. Die weiße Linie in der Filter-Sektion gibt Aufschluss über den Frequenzgehalt der „Probe“. (Rudrich, 2018).

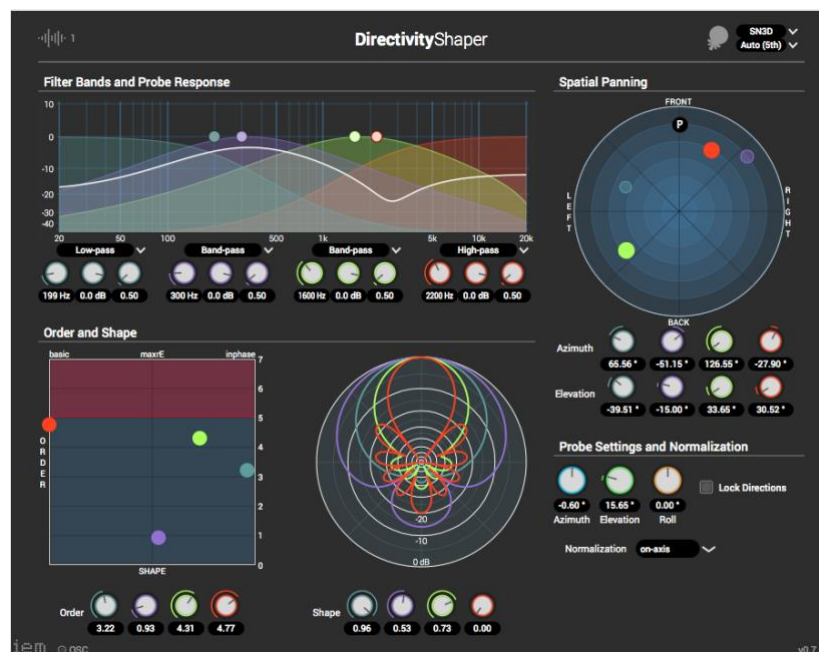


Abbildung 63: DirectivityShaper Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.6 DistanceCompensator

Der *DistanceCompensator* ist dafür entwickelt worden, die Entfernung zwischen Abhörposition und Lautsprecher zu kompensieren. Das Plug-In errechnet mithilfe der verwendeten Daten die nötigen Delays und Lautstärken für Distanzunterschiede zwischen den Lautsprechern. Es macht Sinn, das Plug-In in der Signalkette erst nach dem Einsatz eines Decoders zu verwenden (Rudrich, 2018).

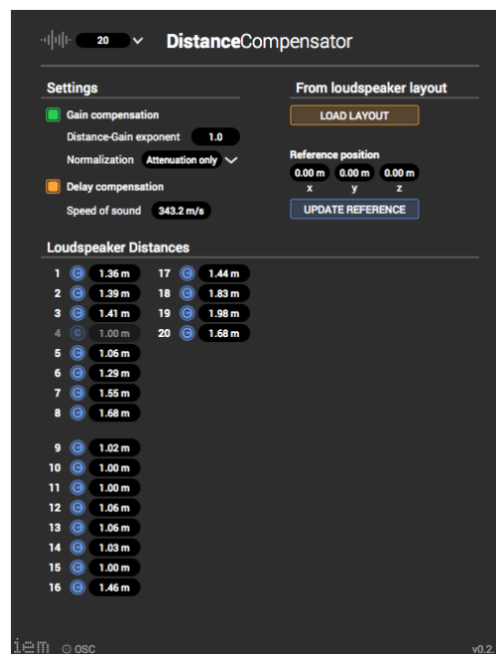


Abbildung 64: DistanceCompensator Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.7 DualDelay

Analog zu einem konventionellen Delay ist das *DualDelay* ein Delay-Plug-In für den Einsatz in der Ambisonics Domäne. Es sind zwei Delay-Lines vorhanden, welche unabhängig konfiguriert werden können. Ein besonderes Feature stellt die Möglichkeit der Soundfeld-Rotation dar. So kann nach jedem passieren der Delay-Line, das gesamte Soundfeld unterschiedlich rotiert werden. Der Klang des Delays kann mit den vorhandenen High- und Low-Pass Filtern verändert werden. Jede Delay-Line kann entweder in sich selbst und/oder in die zweite Instanz geschliffen werden und zu dem Ausgangssignal hinzugemischt werden (Rudrich, 2018).



Abbildung 65: DualDelay Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.8 EnergyVisualizer

Dieses Plug-In kann verwendet werden um die räumlichen Signale visuell als Energieverteilung auf einer Kugeloberfläche darzustellen. Die Energiepotentiale sind entsprechend der Legende farbcodiert. Für dieses Metering wird das Ambisonics-Signal mit 480 virtuellen Lautsprechern dekodiert und anschließend mittels RMS-Rechnung der Effektivwert ermittelt (Rudrich, 2018).

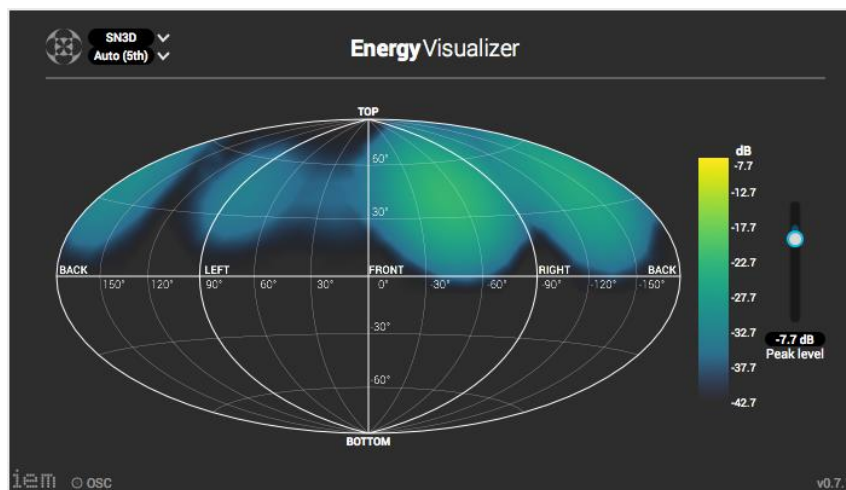


Abbildung 66: EnergyVisualizer Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.9 FdnReverb

Das *FdnReverb* ist basiert auf einem Feedback-Delay-Network und kann sowohl mit Mono-/Stereo Signalen als auch mit Ambisonics-Signalen verwendet werden. Auf Audiosignale angewandt führt es zu einem räumlich und zeitlich diffusen Nachhall. Dabei können die Nachhallzeit und die Frequenzabhängigkeit mittels zwei Filtern kontrolliert werden (Rudrich, 2018).

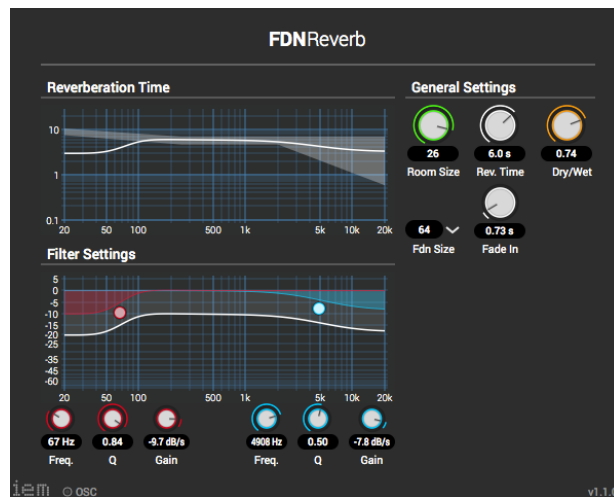


Abbildung 67: FDNReverb Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.10 MatrixMultiplier

Sollten Konfigurationsfiles vorhanden sein, welche ein *TransformationMatrix*-Objekt beinhalten können diese mit dem *MatrixMultiplier* geladen und auf das Input Signal angewendet werden (Rudrich, 2018).

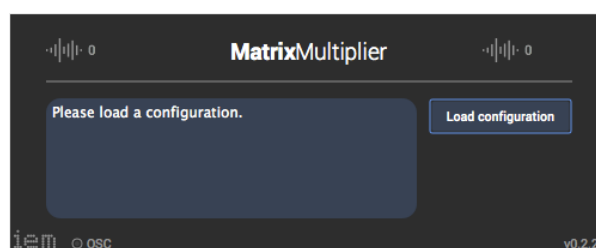


Abbildung 68: MatrixMultiplier Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.11 MultiEncoder

Durch den Einsatz des *MultiEncoders* können in einem Plug-In bis zu 64 Quellen in die Ambisonics Domäne gebracht und kontrolliert werden. Für die Zahl der Quellen ist ein Dropdown Menü in der oberen linken Ecke zuständig. Gepanant wird wie gewohnt mit dem sphärischen Panner. Zusätzlich kann jede Quelle mit einer eindeutigen Farbe versehen und in ihrer Lautstärke kontrolliert werden. Wird die „*Lock Directions*“ Check-Box ausgewählt sind die Positionen aller Quellen gesperrt und mit dem Master-Panner verbunden, welcher separat kontrolliert werden kann (Rudrich, 2018).

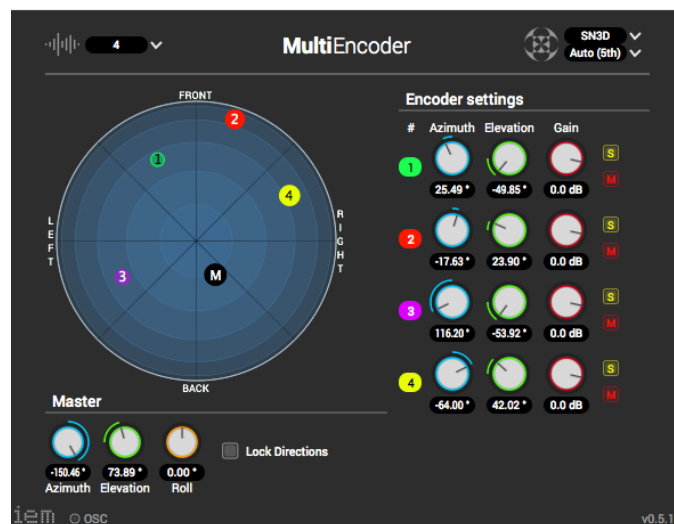


Abbildung 69: MultiEncoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.12 MultiEQ

Der *MultiEQ* bietet einen einfachen Equalizer, der bis zu 64 Kanäle filtern kann. Jeder der sechs vorhandenen Filter kann ein- und ausgeschaltet und in seinem Filter-Typ verändert werden. Der höchste bzw. niedrigste Filter liefert zusätzlich Tief- und Hochpassfilter verschiedener Ordnung (Rudrich, 2018).

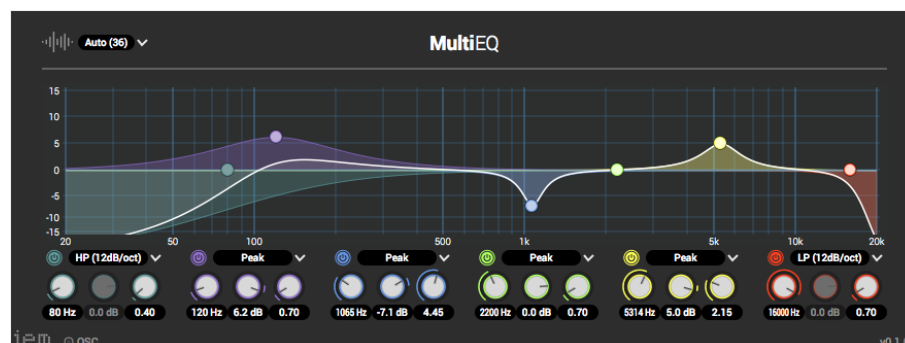


Abbildung 70: MultiEQ Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.13 OmniCompressor

Dieser Ambisonics Kompressor kann auch als Limiter verwendet werden. Er arbeitet wie ein normaler Kompressor. Dabei nimmt er die W-Komponente (Omni) des Ambisonics Signals als Ausgangssignal und wendet die berechneten Lautstärkensignale auf das restliche Signal an. Wird der Lookahead aktiviert, kommen 5 ms Latenz zu dem Signal hinzu. Wird die GUI des Plug-Ins deaktiviert, wird so der DAW die Latenz nicht mitgeteilt. Einerseits verringert dies CPU Belastung, andererseits wird so das Delay nicht seitens der DAW kompensiert (Rudrich, 2018).

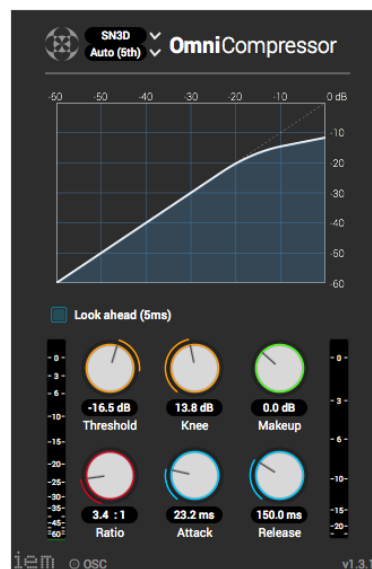


Abbildung 71: OmniCompressor Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.14 ProbeDecoder

Für Testzwecke kann mit dem *ProbeDecoder* eine bestimmte Raumrichtung eines Ambisonics Eingangssignals dekodiert werden.

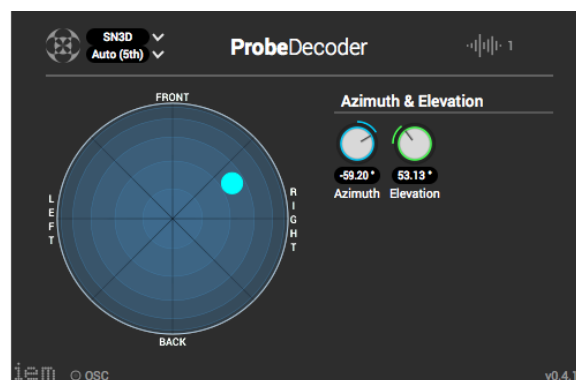


Abbildung 72: ProbeDecoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.15 RoomEncoder

Mit Hilfe des *RoomEncoders* ist es möglich, eine Quelle und einen Zuhörer in einem virtuellen Raum (der Form einer Schuhschachtel) zu platzieren. Es ist möglich über 200 Wandreflexionen zu rendern. Das Plug-In eignet sich unter anderem gut dafür, die Wiedergabe von binauralen Signalen zu verbessern. Sowohl die Quelle, als auch der Hörer können frei im Raum bewegt werden, was zu Doppler-Effekten führt. Der Charakter der Reflexionen kann durch die Reflexions-Koeffiziente und den Low-Shelf bzw. High-Shelf Filter angepasst werden. Da der *RoomEncoder* auch mit Direktivitätssignalen arbeiten kann, ist es möglich, dass die Quelle eine frequenzabhängige und zeitvariable Direktivität besitzt (Rudrich, 2018).

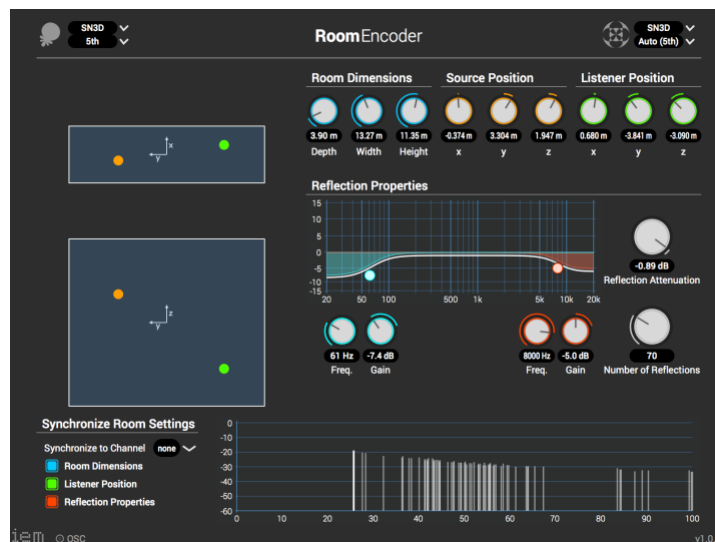


Abbildung 73: RoomEncoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.16 SceneRotator

Mittels *SceneRotator* können komplette Ambisonics Szenen rotiert werden. Die Kontrolle funktioniert entweder mittels Yaw-Pitch-Roll (Vertikal-, Quer-, Längsachse) oder alternativ über Quaternionen. Jede Rotationsachse kann invertiert werden, was zu „verkehrten“ Steuerung führt. Der *SceneRotator* kann beispielsweise für den Einsatz von binauraler Wiedergabe in Kombination mit Head-Trackern verwendet werden, um die Kopfbewegungen zu kompensieren (Rudrich, 2018).

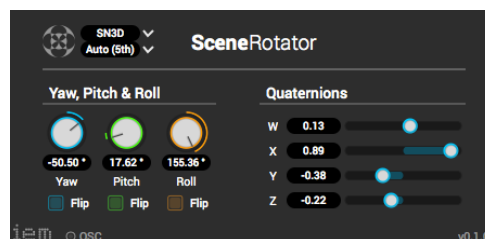


Abbildung 74: SceneRotator Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.17 SimpleDecoder

Der *SimpleDecoder* lädt Konfigurationsfiles im JSON Format und dekodiert den Ambisonics Input in Lautsprecher-signale. Hier können beispielsweise JSON Files geladen werden, welche mit dem AllRADecoder erstellt wurden. Ist der Subwoofer-Modus „discrete“ aktiviert, wird der Ambisonics Input mittels Hoch- und Tiefpassfilter 4ter Ordnung in zwei Bänder gefiltert. Das obere Band wird laut der geladenen Konfiguration dekodiert, während das untere an den diskreten Subwoofer-Kanal geschickt wird. Ist der Modus „virtual“ aktiviert, wird das Tiefpass gefilterte Signal auf alle Lautsprecher geschickt und erzeugt so einen virtuellen Subwoofer (Rudrich, 2018).

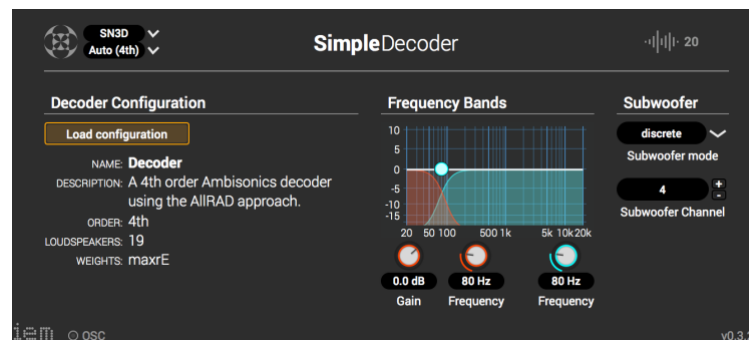


Abbildung 75: SimpleDecoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.18 StereoEncoder

Der *StereoEncoder* kann dazu verwendet werden um Audio-Signale (Mono oder Stereo) in die Ambisonics Domäne zu transferieren (Bis zu 7ter Ordnung). Mittels GUI kann die Orientierung, Breite und Rotation des Stereo-Paares beeinflusst werden. Zusätzlich können durch den Quaternionen Input Daten von Trackern (zB.: Headtracker) dazu verwendet werden, die Quelle zu steuern bzw. zu positionieren (Rudrich, 2018).

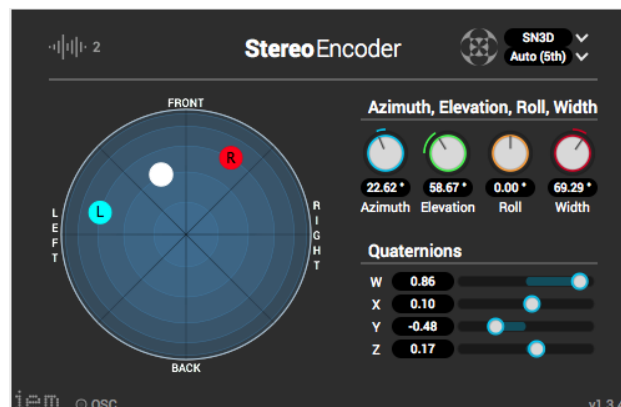


Abbildung 76: StereoEncoder Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.4.1.19 ToolBox

Mit dieser kleinen Tool-Box kann beispielsweise ein Ambisonics Signal entlang der X,Y oder Z-Achse invertiert werden. Es kann aber auch als Adapter zwischen Plug-Ins verwendet werden, welche eine automatische Ordnungserkennung besitzen und jenen mit festgelegten Ordnungen. Das LOA (lower order Ambisonics) Feature erlaubt es Ambisonics Material verschiedener Ordnung zu mischen. Wird beispielsweise ein FOA-Mikrofon verwendet dessen Signal in einer Session der 5ten Ordnung verwendet werden soll. Die Toolbox wird als Plug-In gewählt, wobei als Input die erste Ordnung, als Output die 5te Ordnung und als Weighting maxrE ausgewählt wird (Rudrich, 2018).

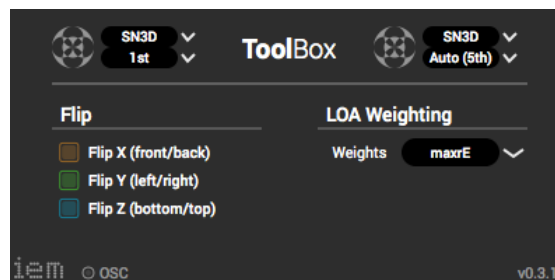


Abbildung 77: ToolBox Plug-In (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.5 Struktur des Versuchs

Zu allererst wurde die DAW Reaper und die Plug-In Suite in ihren aktuellsten Versionen heruntergeladen.

*Cockos Reaper v.5.963, Release: 23.11.2018*³⁹

*IEM Plug-In-Suite v1.8.1, Release: 11.11.2018*⁴⁰

7.5.1 Installation

Die Installation der DAW Reaper erfolgte durch das Öffnen des heruntergeladenen Disk-Images und das Verschieben der Anwendung in den Programmordner. Für die Installation der Plug-In Suite wurde die Zip-Datei entpackt und der Ordner „*IEM*“ händisch in folgenden Pfad abgelegt „*/Library/Audio/Plug-Ins/VST*“. Nachdem Reaper die Plug-Ins gescannt und erkannt hatte waren sie in der DAW verfügbar. Um bei der Verwendung der Plug-Ins zwischen verschiedenen Ordnungen wählen zu können, muss Reaper die Plug-Ins über die aktuelle Kanalgröße informieren. Um diese Funktion zu aktivieren wurde in einer Reaper-Session der Plug-In-Browser geöffnet und nach

³⁹ Abgerufen von <https://www.reaper.fm/download.php>, letzter Aufruf am 13.12.2018.

⁴⁰ Abgerufen von <https://plugins.iem.at/download>, letzter Aufruf am 13.12.2018.

„IEM“ gesucht. Nun wurden alle Plug-Ins markiert und per Rechtsklick „Inform plug-in when track channel count changes“ ausgewählt (siehe Abb. 78). Einmal aktiviert, wird dies für alle zukünftigen und bereits vorhandenen Reaper Sessions übernommen.

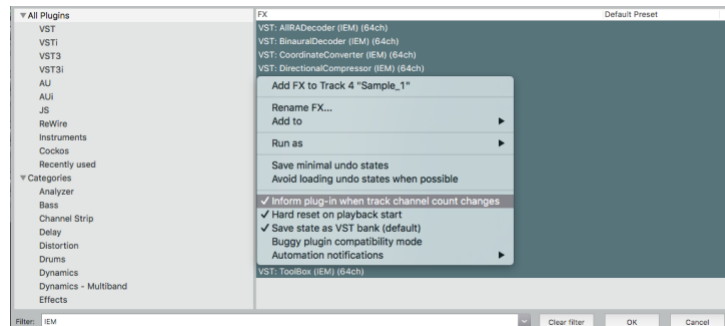


Abbildung 78: Ermöglichung der Kommunikation zwischen den Kanälen und den Plug-Ins (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.5.2 Produktionsformat

Als Produktionsformat wurde Ambisonics der 5ten Ordnung gewählt. Dies begründet sich darin, dass die räumliche Auflösung bei der Arbeit mit noch höheren Ordnungen bei steigender Rechenleistung vernachlässigbar klein ist. Durch die Arbeit mit 5ter Ordnung ist dank der Flexibilität welche durch Ambisonics gegeben ist, sowohl eine Abwärts-, als auch Aufwärtskompatibilität gegeben. Nach Frank (2014) erzielen in Lautsprecheranordnungen mit 20-30 Lautsprechern, Decoder 4ter oder 5ter Ordnung und einer max- r_E Gewichtung gute Ergebnisse (Frank, 2014). Darauf basierend, wurde ein Decoder 4er Ordnung erstellt. Sollten so erstellte Produktionen in Zukunft auf Systemen mit niedrigerer Ordnung wiedergegeben werden wollen, könnten die überflüssigen Kanäle einfach ignoriert werden. Da durch die Arbeit mit 5ter Ordnung mit einer höheren Ordnung, als in dem vorhandenen System darstellbar produziert wurde, ist es auch möglich Produktionen einfacher in Systemen mit einer höheren Ordnung wiederzugeben. Abbildung 79 verdeutlicht den zugrundeliegenden Workflow des verwendeten Ambisonics Verfahren etwas näher. Es gilt jedoch anzumerken, dass in dem System keine Einschränkung auf Mono-Signale besteht, das lässt folglich auch die Verwendung von Stereo-Signalen zu.

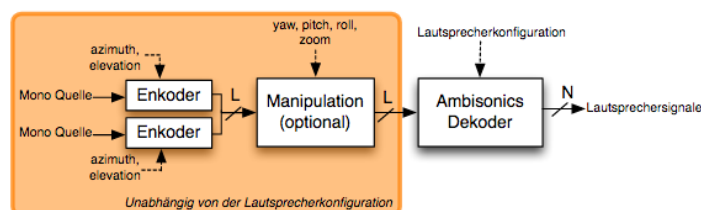
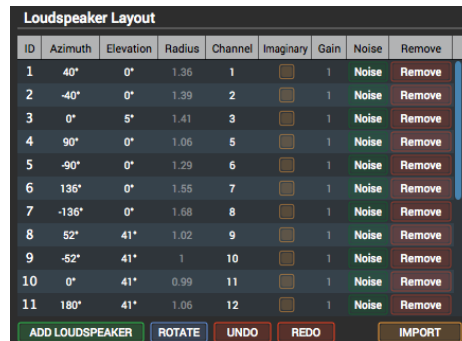


Abbildung 79: Ambisonics-Workflow, beginnend bei der Enkodierung bis hin zur Lautsprecherwiedergabe (Kronlachner, 2012)

7.5.3 Erstellung des Decoders

Zur Erstellung des Decoders, welcher angepasst an das vorhandene Lautsprecher-Layout generiert wurde, wurde neben den gemessenen Lautsprecherdaten das Plug-In *AllRADecoder* verwendet. Jeder vorhandene Lautsprecher wurde mit „add loudspeaker“ hinzugefügt und seine Werte für Azimuth, Elevation und Softwarekanal eingetragen.



ID	Azimuth	Elevation	Radius	Channel	Imaginary	Gain	Noise	Remove
1	40°	0°	1.36	1	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
2	-40°	0°	1.39	2	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
3	0°	5°	1.41	3	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
4	90°	0°	1.06	5	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
5	-90°	0°	1.29	6	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
6	136°	0°	1.55	7	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
7	-136°	0°	1.68	8	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
8	52°	41°	1.02	9	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
9	-52°	41°	1	10	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
10	0°	41°	0.99	11	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove
11	180°	41°	1.06	12	<input type="checkbox"/>	1	Noise	Remove

Abbildung 80: Dialog für das Management von Lautsprechern (Screenshot durch den Autor, 2018)

Zusätzlich wurden die Entfernungen (in *m*) zu den jeweiligen Lautsprechern in die Radius-Spalte eingetragen. Dies hatte zwar keine direkte Auswirkung auf die Signalverarbeitung, wurde jedoch in die Metadaten des Setups abgespeichert. Um das Routing für den Lautsprecher zu verifizieren wurde mittels Noise-Button überprüft ob der jeweils richtige Lautsprecher das für ihn vorgesehene Signal empfängt. Die hinzugefügten Lautsprecher wurden durch die 3D-Visualisierung angezeigt, welche rotiert und gezoomt werden konnte um zu prüfen ob das Layout der Realität entspricht. Unter der Visualisierung des Setups konnte zusätzlich die Energieverteilung welche für den berechneten Decoder auf einer Kugelfläche herrscht kontrolliert werden.

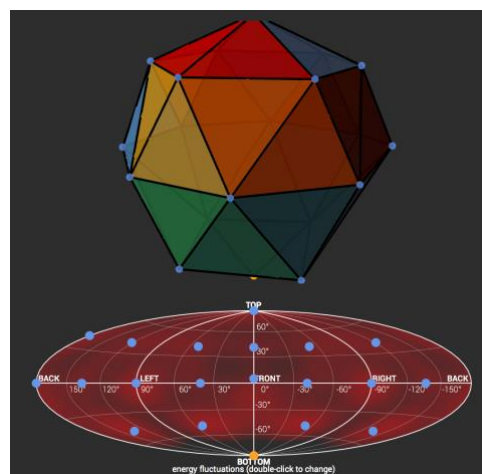


Abbildung 81: 3D-Repräsentation und Energieverteilung des Lautsprecher-Layouts (Screenshot durch den Autor, 2018)

Neben den real vorhandenen Lautsprechern, wurde das Setup um einen virtuellen Lautsprecher (Azimuth: 0° , Elevation: -90°) erweitert. Der Gain dieses Lautsprechers wurde auf 0 gesetzt, da Quellen, die sich in der unteren Hemisphäre befinden, sonst von allen Boden-Lautsprechern wiedergegeben worden wären. Nach dem Hinzufügen aller Lautsprecher errechnete das Plug-In den Decoder, entsprechend der Ordnung, welche in dem Dropdown-Menü ausgewählt wurde. Fertig berechnet, lieferte das Plug-In eine grün hinterlegte Bestätigung. Etwaige Probleme bezüglich des aktuellen Layouts wären in der Message-Box unter der Lautsprecher-Liste angezeigt worden. Der so erstellte Decoder und das Layout wurden exportiert und gespeichert.

Technisch betrachtet wird das Ambisonics-Signal bei einem Einsatz des *AllRADecoder* für ein ideales virtuelles Lautsprechersystem dekodiert. Die Signale der virtuellen Lautsprecher werden anschließend mittels VBAP auf die real vorhandenen Lautsprecher gemappt. (Frank, 2014). Diese Kombination aus Ambisonics und VBAP basiert bezüglich des Pannings und des Dekodierens auf der AllRAP-/AllRAD-Methode, welche von Franz Zotter und Matthias Frank vorgestellt wurde. Bei einer Reproduktion für Lautsprecher steht die klangliche Qualität dieser, trotz der Flexibilität des Systems, in Abhängigkeit zu der Anzahl der verwendeten Lautsprecher und deren geometrischer Anordnung (Zotter & Frank, 2012).

Da sich das Lautsprechersystem nicht veränderte wurde ab hier der *SimpleDecoder* verwendet. In diesem wurde der mit dem *AllRADecoder* erstellte und abgespeicherte Decoder geladen. Wird ein Decoder geladen, gibt das Plug-In Auskunft darüber, welche Ordnung der Decoder besitzt, wie viele Lautsprecher in dem abgespeicherten Setup vorhanden sind und nach welchem Normalisierungsschema die Ambisonics-Komponenten gewichtet sind. Zusätzlich besteht die Möglichkeit das LFE-Signal einem Hardwarekanal zuzuweisen, falls ein Subwoofer vorhanden ist oder den virtuellen Subwoofer-Modus zu verwenden, bei welchem ein Subwoofer emuliert wird. Für das vorhandene Setup wurde der diskrete Modus gewählt und Kanal 4 selektiert. Um auf die Art des Subwoofers zu reagieren ist es möglich, die Cutoff-Frequenz und den Gain für das Subwoofer-Signal anzupassen.

Als zusätzliches Plug-In in der Signalkette wurde nach dem *SimpleDecoder* noch der *DistanceCompensator* verwendet. Dieser liest die im Layout abgespeicherten Lautsprecherdistanzen und kompensiert die Laufzeitdifferenzen mit passenden Delays.

7.5.4 Blank-Session

Um jedem Probanden dieselben Voraussetzungen zu ermöglichen wurde eine Blank-Session erstellt die das komplette Routing und alle dafür notwendigen Plug-Ins enthielt. Zusätzlich waren bereits vier Spuren in dem Projekt vorhanden. Zwei Spuren für die Arbeit mit Audiomaterial oder Samples, die anderen beiden für den Einsatz von Software-Instrumenten. Bei Bedarf von zusätzlichen Spuren war es möglich, die vorhandenen Spuren einfach zu duplizieren und zu verwenden, während gleichzeitig das Kanalrouting übernommen werden konnte. Neben dieser Blank-Session wurden auch einige Sample-Packs bereitgestellt, welche frei zur Verfügung standen. Zusätzlich waren einige Effekte und virtuelle Instrumente auf dem Rechner vorinstalliert welche ebenfalls bei Bedarf verwendet werden konnten.

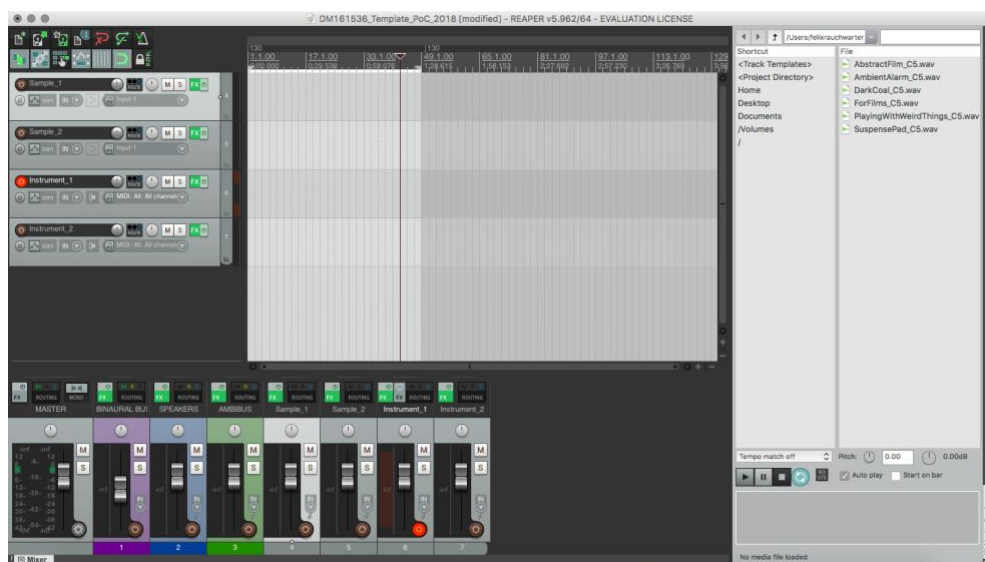


Abbildung 82: Blank Session für die Benützung im Versuchsaufbau (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.5.5 Signalfluss

Im Grunde bestand das Projekt aus drei Instanzen. In der Ersten konnten Mono und Stereosignale oder virtuelle Instrumente bearbeitet und in die Ambisonics-Domäne gebracht werden. Dies geschah durch das Bearbeiten von Audiosignalen auf einer Spur. Alle so entstandenen 36-kanaligen Ambisonics-Signale wurden über einen Send in den „AMBIBUS“ geschickt. Dort konnte die gesamte Ambisonics-Mischung bearbeitet oder analysiert werden. Von dort aus gelangte das Signal über Sends auf zwei weitere Kanäle. Den „BINAURAL BUS“ welcher dank des *BinauralDecoders* ein binaurales Kopfhörersignal erstellte und „SPEAKERS“ welcher das Signal mittels des erstellten Decoders auf die verwendete Lausprecheraufstellung verteilte.

Wichtig war es, bei jedem verwendeten Kanal im Routing den Master Send abzuhaken, da das Kanalsignal sonst zusätzlich zu dem Bus-Signal an den Master gesendet worden wäre, was zu einer verfälschten Wiedergabe geführt hätte.



Abbildung 83: Routing-Schaltfläche für den Aufruf des Kanalroutings (Screenshot durch den Autor)

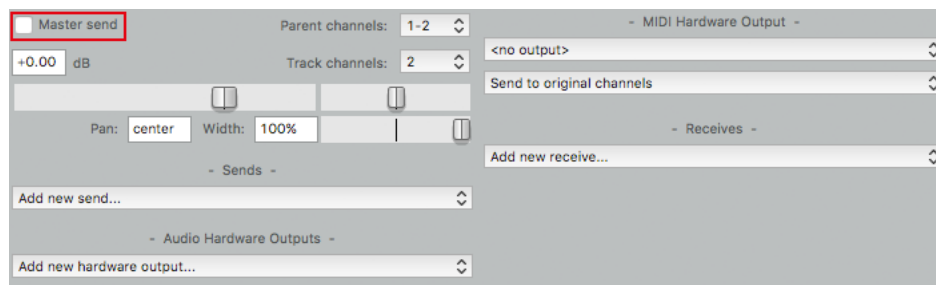


Abbildung 84: Abwählen des „Master-Sends“ im Kanalrouting (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.5.6 Routing

Um die für 5te Ordnung erforderliche Kanalanzahl von 36 Kanälen zu erhalten, musste jede Spur auf eine Kanalanzahl von 36 erhöht werden. Weiters mussten die Sends, welche die Ambisonics-Signale auf Lautsprecher und Kopfhörer dekodierten ebenfalls alle 36 Kanäle enthalten.

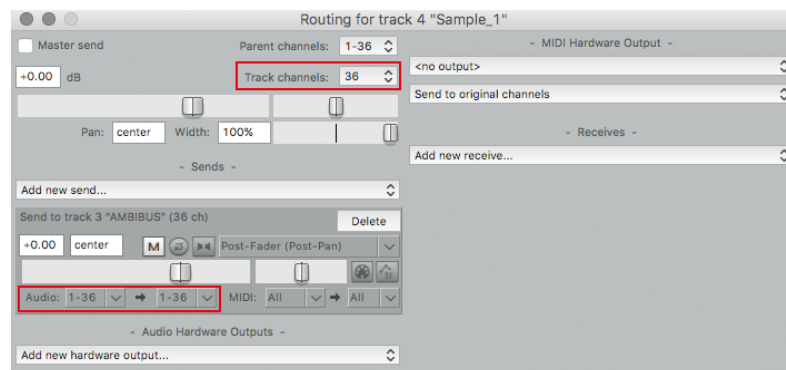


Abbildung 85: Erhöhung der Kanalanzahl der Spur und der Sends im Kanalrouting (Screenshot durch den Autor, 2018)

7.5.6.1 Sample/Instrument Spur

Dieser Spur wurde verwendet um Mono- und Stereo-Signale zu bearbeiten und in die Ambisonics Domäne zu bringen. Hierfür konnten Plug-Ins über den FX-Browser nach Belieben verwendet werden. Die Parameter der verwendeten Plug-Ins konnten auch Automatisiert werden. Von diesen Spuren, lieferte ein Send die 36-spurigen Ambisonics-Signale an den „AMBIBUS“.

7.5.6.2 AMBIBUS

In dem „AMBIBUS“ liefen alle im Projekt verwendeten und bearbeiteten Ambisonics-Signale zusammen. Hier konnte das Finale Signal bearbeitet und analysiert werden. Von hier aus wurde das finale Signal einmal an „SPEAKER“ und einmal an den „BINAURAL BUS“ gesendet.

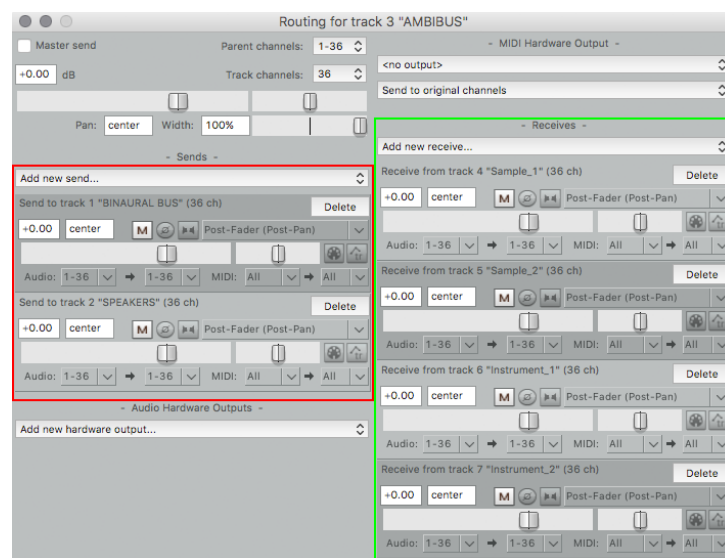


Abbildung 86: Kanalrouting des „AMBIBUS“ mit Receives (grün) und Sends (rot)
(Screenshot durch den Autor, 2018)

7.5.6.3 SPEAKERS

In der Effektkette dieses Kanals befand sich der *SimpleDecoder* und der *DistanceCompensator*. Von hier aus gelangte das Decodierte Signal an die definierten Hardware-Outputs.

7.5.6.4 BINAURAL

Hier wurde mittels *BinauralDecoder* der Binaural-Mix erstellt und an den MASTER gesendet.

7.5.6.5 MASTER

Auf dem MASTER gelangte dementsprechend nur das binaurale Kopfhörersignal an. Als Hardware-Output wurde Kanal 21 & 22 gewählt, was einem der beiden Kopfhörerausgänge des Fireface UFX+ entsprach. Somit wurde zu jeder Zeit das Kopfhörersignal ausgespielt. Wurde der MASTER auf Solo geschaltet, wurden die Lautsprecher signale stummgeschaltet. Dies diente dem Monitoring über Kopfhörer, wobei der Kopfhörer hier ohne zusätzliches Headtracking verwendet wurde.

7.5.7 Reproduzierbarkeit des Versuchsaufbaus

Alle verwendeten Ressourcen wie Software, Plug-In-Suite, erstellter Decoder und Blank-Session sind auf dem beigelegten Datenträger zugänglich. Dies dient dem Zweck um es gemeinsam mit den Informationen bezüglich der Hardware und den Positionsdaten der Lautsprecher zu ermöglichen, den Versuchsaufbau zu reproduzieren.

7.5.8 Einschränkungen der Probanden

Bis auf die zeitliche Einschränkung waren die Probanden nicht in ihrer Arbeit eingeschränkt. Sie konnten ihrer Kreativität freien Lauf lassen und so die Arbeitsweise bzw. Produktionsumgebung erkunden. Dabei stand es ihnen frei Audiosignale, VST-Instrumente oder eine Kombination der Beiden zu verwenden. Bei der Verwendung von Plug-Ins und Effekten konnte entweder nur mit den Plug-Ins der IEM-Plug-In Suite gearbeitet werden oder eine Kombination der Suite mit anderen externen Effekten gewählt werden. So konnte beispielsweise ein Audiosignal mit gängigen Stereo-Plug-Ins bearbeitet werden, bevor es in die Ambisonics Domäne gebracht wurde.

7.6 Einführung und Supervision

Die Probanden wurden mündlich und praktisch in die Grundlagen der Ambisonics-Theorie und in die Session eingeführt. Ihnen wurde der Workflow, das Routing und die Plug-Ins nähergebracht. Nach der Einführung wurde der Raum verlassen um ihnen Ruhe und freien Handlungsspielraum zu geben und eine ungestörte Arbeit zu gewährleisten. Um etwaige Probleme zu beseitigen, konnten die Probanden jederzeit Hilfe anfordern.

7.7 Ergebnisse

Ganzheitlich betrachtet lief der Versuch ohne grobe Probleme ab. Das gestaltete System funktionierte bis auf einmalige Probleme bezüglich der Rechenleistung stabil und ausfallfrei. Wie die Versuchsteilnehmer die Arbeit darin beurteilten und welche Stellung sie dazu bezogen wird im folgenden Abschnitt behandelt. Die hier aufgeschlüsselten Ergebnisse stammen aus der zweiten Interviewphase, welche direkt im Anschluss an die Versuchsteilnahme stattfand.

7.7.1 Daniel Hollinetz

Die verfügbaren vier Stunden wurden zur Gänze ausgenutzt, wobei der Wunsch nach mehr Zeit vorhanden war. Dabei wurde einmal Hilfe angefordert, da die starke Verwendung von Plug-Ins eine höhere Rechenleistung als erwartet erforderte. Nach der Anpassung der Buffer-Size konnten diese performancebedingten Schwierigkeiten jedoch beseitigt werden.

Die Arbeit selbst wurde als sehr positiv und lustig empfunden. Es wurde bemerkt, dass sich der Prozess nicht so schwierig gestaltete wie zuvor gedacht. Trotz einer unbekannten DAW und Plug-Ins wurde der Workflow nach einer kurzen Eingewöhnungsphase als einfach und intuitiv empfunden. Entgegen der eigenen Vorstellungen gestaltete sich das Projekt eher musikalisch als experimentell.

„Die Arbeit hat mir sehr gut gefallen. (...) Es war doch nicht so schwierig wie gedacht. Es war lustiger als gedacht. Und (...) nicht so nervenraubend wie gedacht.“ (Hollinetz, 2018b, S. 1)

In diesem Zusammenhang wurde es als interessant angesehen, in einem dreidimensionalen Kontext zu produzieren. Durch die zusätzlichen Raumrichtungen ergab sich eine Vielzahl von neuen Möglichkeiten, was einerseits als ansprechend, aber auch als gewöhnungsbedürftig aufgefasst wurde. Die Möglichkeit Elemente in einer Ebene unter dem Zuhörer positionieren zu können, wurde als sehr vorteilhaft empfunden, während die Verwendung von rückwertigen Lautsprechern VoG eher zaghafter erfolgte. Die verringerte

Verwendung dieser wurde damit begründet, dass rückwertige Schallereignisse nicht unserer normalen Hörerfahrung mit Lautsprechern entspricht, was zu einer starken Fokusverlagerung auf diese Signale führen würde.

Am positivsten wurde die Verwendung von Hall empfunden, welcher eine Einhüllung von allen Seiten erlaubt und eine gesteigerte Natürlichkeit vermittelt und auch vielseitiger als in einer Stereo-Produktion verwendet werden könnte. Zusätzlich wurde die einzigartige Möglichkeit erwähnt, einen akustischen Raum zu erzeugen, was sich bei einem Einsatz von zwei Lautsprechern nicht so eindrucksvoll erzeugen lässt. Ein Vorteil welcher gegenüber einem Stereo-System erwähnt wurde war, dass auch nach längerer Zeit keine Ermüdung der Ohren erfolgte. Im Gegensatz zu einer Stereo-Umgebung wurde aber auch erwähnt, dass es wahrscheinlich längere Zeit und Übung brauchen würde, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erhalten. Diesbezüglich wären Referenzen erwünscht um zu vergleichen wie sich die Arbeitsweise anderer KünstlerInnen in dieser Situation gestaltet.



Abbildung 87: Daniel Hollinetz bei der Arbeit im Versuchsaufbau (Fotografie durch den Autor, 2018)

Ein weiterer Unterschied zu einer vergleichbaren Stereo-Produktion war, dass die gewählte Herangehensweise eine andere war, was es ermöglichte sich nicht auf die technischen Parameter zu reduzieren. Dies hatte eine direkte Auswirkung auf die Arbeitsweise und resultierte in neuen Experimenten. Ob die Umgebung Einfluss auf die Kreativität hatte, konnte nicht klar beantwortet werden. Es wurde jedoch festgestellt, dass die Umgebung die Art und Weise verändert wie Klang geschaffen wird. In diesem Zusammenhang wurde auch angesprochen, dass trotz der neuen Möglichkeiten auch zusätzlich Faktoren berücksichtigt werden mussten, welche in einer Stereo-Produktion keine Rolle spielen.

„Also ich habe schon einige Sachen gemacht die ich halt sonst nicht machen würde, wahrscheinlich. (...) Also ich kann es schwer sagen, ob es das beeinflusst, aber sicher macht es etwas mit einem, ja. (...) Aber ich habe mich (...) auch auf viele andere Sachen konzentrieren müssen, auf die ich mich sonst nicht konzentrieren hätte müssen.“ (Hollinetz, 2018b, S. 2)

Das Lautsprecher-Setup betreffend, wurde es als störend empfunden, dass der Center-Lautsprecher teilweise durch Bildschirme und das Rig verdeckt wurde. Das schränkte die ideale Performance des Systems ein.

Da der Vergleichswert zu anderen Software-Anwendungen fehlte, konnte nicht bewertet werden, ob eine andere Lösung besser funktioniert hätte. Die bereitgestellten Tools wurden dennoch als mehr als ausreichend empfunden. Obwohl der Umgang mit 36 Kanälen eine Umstellung mit sich brachte, wurde entgegen Erwartungen eine flüssige Arbeitsweise festgestellt. Obwohl alle vorhandenen Plug-Ins ausprobiert wurden, beschränkte sich die Verwendung auf drei bis vier Tools.

Eine erneute Möglichkeit in diesem oder einem ähnlichen System zu arbeiten würde genutzt werden, da die Arbeit selbst sehr positiv bewertet und als Neuerung empfunden wurde. Durch zusätzliche erhaltene Informationen (Lehre und Vorträge) nach der ersten Interviewphase, aber auch durch die Konfrontation in dem Versuchsaufbau wurde die Meinung zu 3D-Audio positiv beeinflusst. Während das Thema anfangs sehr kritisch betrachtet wurde, wechselte die Einstellung zu Begeisterung und Interesse.

Ein abschließender Gedanke war, dass es schade sei, nicht die Möglichkeit zu haben, das erstellte Projekt in derselben Form noch einmal zu hören da ein solches System zuhause aufzubauen sehr kosten- und zeitintensiv wäre. Vor allem da mit dem Versuch ein Interesse für die Zukunft geweckt wurde.

7.7.2 Peter Kalcic

Die Arbeit wurde nach der Hälfte der vier Stunden aus eigenem Willen beendet. Dies hatte nach eigenen Aussagen den Grund, dass diese Zeit für eine erste Arbeit mit dem System als ausreichend empfunden wurde. In dieser Zeit konnte die Produktionsumgebung ausgiebig genug auf den Funktionsumfang getestet werden. In der Zeit der Arbeit wurde einmal Hilfe bezüglich des File-Managements in Reaper angefordert.

Die Arbeit selbst wurde als lustig empfunden. Hauptsächlich wurde versucht, Schallsignale im Raum springen zu lassen und zu analysieren wie sich dies auf die Wahrnehmung auswirkt. Darüber hinaus wurde mit der Möglichkeit experimentiert Elemente zu positionieren und diese zu bearbeiten. Die Eröffnung dieser neuen Möglichkeiten wurde als spannend beschrieben.

„Das was ich eben probieren wollte, ist wie ich Sachen im Raum hin und her springen lassen kann. Und wie sich das dann auswirkt. (...) Das Delay-Tool habe ich ausprobiert und generell geschaut wie man Sachen irgendwo positionieren kann. (...) Das war irgendwie ganz spannend, ja.“ (Kalcic, 2018b, S. 1)

In Bezug auf konventionelle elektronische Produktionen wurde die Schwierigkeit festgestellt, dass für dreidimensionalen Mischungen keine Vorgaben vorhanden waren. In diesem Zusammenhang wurde auch erwähnt, dass Mixdowns für dreidimensionale Produktionen wahrscheinlich bedeutend länger dauern würden, da wesentlich mehr Möglichkeiten gegeben wären.

Im Vergleich zu der üblichen Arbeitsweise wurde hier von Beginn an, systembedingt ein anderer Ansatz gewählt. Während bei Stereo-Musikproduktionen mit Akkorden oder einer musikalischen Idee begonnen wird, wurde hier von geräuschhafteren Elementen ausgegangen, welche räumlich positioniert wurden. Die gewöhnliche Arbeitsweise direkt auf diesem System zu übertragen wurde als unrealistisch empfunden.

Bezüglich der Vorteile wurde auf das erste Gespräch verwiesen in dem die Meinung vertreten wurde, dass ein Stereo-System genügen würde um Emotionen zu vermitteln. Trotz Aufrechterhaltung dieser Meinung wurden die räumlichen Vorteile betont, welche es möglich machen würden Produktionen auf einen Raum abzustimmen oder interaktive Produktionen mit einem experimentelleren Charakter zu realisieren.



Abbildung 88: Peter Kalcic bei der Arbeit im Versuchsaufbau (Fotografie durch den Autor, 2018)

Neue Ideen bezogen sich eher auf ganzheitliche Konzepte und nicht auf konkrete Einsätze in der Musikproduktion. Somit wurde durch das System eher die künstlerische als die musikalische Kreativität beeinflusst. Hier wurden erneut Hürden angesprochen, welche bei einem Clubeinsatz vorhanden sein könnten und dass sich dieser Einsatz sich als eher unwahrscheinlich darstellen würde.

Auch wenn hier kein Vergleich möglich war, da dies die erste Konfrontation mit einem solchen System war, wurde die Arbeit in dem System als gut erlebt. Einer erneuten Arbeit stand man positiv gegenüber, welche sich jedoch eher auf Sounddesign oder auf einen speziellen Raum beziehen würde und im Idealfall interaktiv wäre.

Trotz der Wahrnehmung von Unterschieden im Vergleich mit Stereo-Produktionen und den Schwierigkeiten der direkten Übertragung von Arbeitsvorgängen, veränderte sich die Meinung zu 3D-Audio. Die neuen Möglichkeiten vor allem in Bezug auf räumliche Vorteile überraschten dabei sehr positiv.

7.7.3 Daniel Kohlmeigner

Von den zur Verfügung stehenden vier Stunden wurde die Arbeit nach etwa drei Stunden aus eigenem Antrieb abgebrochen. Während der Arbeit mit dem System wurde keine Hilfe angefordert.

Nach eigenen Angaben wurde die Arbeit nach einer Eingewöhnungsphase als sehr lustig empfunden. Diese Erfahrung ging jedoch auch mit einer leichten Verwirrung/Überforderung einher, da das bereitgestellte System eine Neuerung in Produktionsweise und Wahrnehmung darstellte. Außerdem wurde bemerkt, dass es manchmal als schwierig empfunden wurde nachzuvollziehen, was momentan passiert und auf welche Weise die Software das Audiomaterial beeinflusst.

„Ich habe ein bisschen gebraucht um reinzukommen. Aber ich fand es jetzt dann am Schluss schon sehr lustig. (...) Es ist ein Bisschen verwirrend schon auch muss ich sagen. Weil es einfach sehr sehr neu ist und weil ich damit bis jetzt noch nie in Berührung gekommen bin. (...) Aber ich fand es schon jetzt irgendwie lustig und flashig am Ende.“ (Kohlmeigner, 2019)

Die am spannendsten empfundene Möglichkeit, war die Nutzung des Parameters Raum auf neue Weise, welche es ermöglichte Schallquellen örtlich verteilt zu positionieren und zu bewegen. In diesem Zusammenhang wurde beobachtet, dass die räumliche Ortung bei hochfrequenten Signalen wesentlich besser funktionierte als bei tieffrequenten. Neben dieser Erkenntnis, wurde die generelle Ortbarkeit teilweise als schwammig und ungenau empfunden. Neben der einfachen Quellpositionierung wurde auch der Einsatz anderer räumliche Effekte

wie Reverb und Delay als sehr positiv erlebt. Auch wenn der zusätzlich verfügbare Raum als förderlich gesehen wurde, gab es die Auffassung, dass dieser nach kurzer Zeit wieder „ausgefüllt“ sei und so neue produktionstechnische Schwierigkeiten aufwerfen würde.

Auch wenn die räumlichen Platzierungsmöglichkeiten gegenüber einem Stereo-System als positiv aufgefasst wurden, war trotzdem das Gefühl vorhanden, dass diese im ersten Moment zu einer Überforderung führen.

Es wurde hinterfragt, welche Ergebnisse bei einer seriösen und geplanten elektronischen Musikproduktion erreicht werden könnten. In diesem Zusammenhang war der Wunsch vorhanden, Referenzmaterial von anderen KünstlerInnen zu hören.

Im Vergleich zu einem Stereo-System wurde die Arbeit vor allem auf Grund der neuen Umgebung als ungewohnt wahrgenommen. Auch, dass kein Wissen darüber bestand wie einer so neuartigen Umgebung gearbeitet werden kann/soll, wurde vorerst als befremdlich empfunden. Neben der ungewohnten Produktionsweise wurde auch angemerkt, dass man ein Hören in dieser Weise nicht gewöhnt sei und die starke Vervielfachung der Richtungsinformationen in einem ersten Kontakt zu einem starken Informationsüberfluss und einem gesteigerten Konzentrationsaufwand führt.

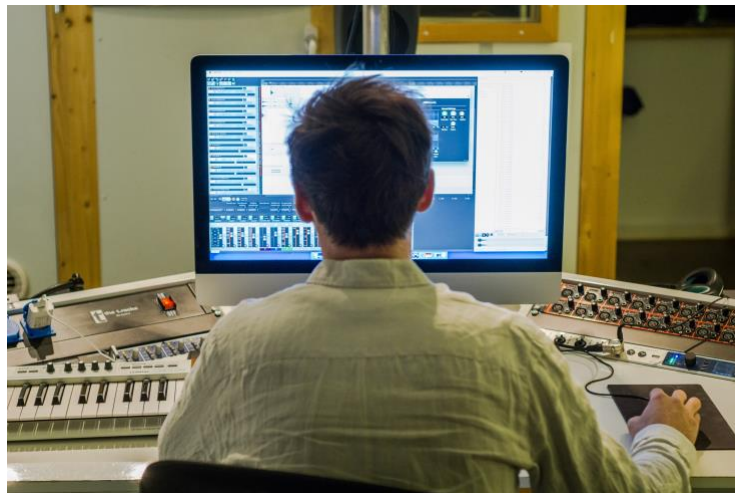


Abbildung 89: Daniel Kohlmeigner bei der Arbeit im Versuchsaufbau (Fotografie durch den Autor, 2019)

Eine Auswirkung auf die Kreativität wurde vor allem in Bezug auf die Raumgestaltung wahrgenommen. Dabei wurde der Fokus während der Arbeit in dem Versuchsaufbau nicht auf die musikalischen Parameter, sondern primär auf räumliche Eigenschaften und dessen Gestaltungsmöglichkeiten gelegt.

Trotz einer reibungslosen Arbeit mit den bereitgestellten Plug-Ins, wurde die räumliche Kontrolle mit Hilfe des sphärischen Panners als unpräzise und nach

dem ersten Kontakt als gewöhnungsbedürftig empfunden. Es bestand jedoch durchaus die Auffassung, dass die Möglichkeit bestünde sich nach einer bestimmten Arbeitszeit an die veränderten Kontrollmechanismen zu gewöhnen.

Die erneute Möglichkeit in einem ähnlichen System arbeiten zu können, stellt ein interessantes Szenario dar. Jedoch mit der Einschränkung, dass eine konkrete Idee verfolgt werden müsste und vorhergehend Überlegungen bezüglich Zweck und Rahmen der Produktion erfolgen müssten.

Auch wenn die Einstellung zu der Anwendung in der elektronischen Populärmusik durch die Versuchsteilnahme nicht direkt verändert wurde, konnte trotzdem eine positive Beeinflussung der subjektiven Meinung gegenüber 3D-Audio beobachtet werden.

Eine generelle Schlussbemerkung war, dass der Zeitabschnitt zu kurz war um das System ausgiebig auf all seine Möglichkeiten zu testen und dass mit der ersten Konfrontation und der drastischen Erhöhung der Lautsprecheranzahl, unweigerlich eine Reizüberflutung einhergeht. Es wurde jedoch als spannender Gedanke empfunden, dass sich der Mensch eventuell erst an die neue Wahrnehmung gewöhnen muss. Das könnte langfristig zu einer Adaption führen. Für die aktuelle Anwendung in der Musik wurde die Hürde weiterhin in der Distribution und Wiedergabe gesehen.

7.8 Résumé

Durch die Gestaltung der Produktionsumgebung und das Testen durch Probanden zeigte sich, dass es möglich ist, eine Umgebung zu schaffen, in der eine Erstellung von dreidimensionalem Material für die Fokusgruppe ermöglicht wird. Das so erstellte System und der Einsatz des Ambisonics-Ansatzes eignen sich in dieser Form grundlegend für elektronische Populärmusikproduktionen. Trotz der Umstellung auf weitaus mehr Lautsprecher und die Erhöhung des Arbeitssignals auf 36 Kanäle wurde die Arbeitsweise als intuitiv empfunden. Auch wenn die Arbeit dabei mit einer bisher unbekannten DAW und Plug-Ins erfolgte, war es beinahe ohne Probleme möglich, Audiofiles in einen 3D-Kontext zu bringen und in diesem zu manipulieren. Dies zeigt auf, dass durch die Aufbereitung von Informationen, ein Wissenstransfer positiv beeinflusst werden kann. Dieser ermöglicht es, sogar mathematisch komplexe Verfahren in einen populärmusikalischen Kontext zu bringen und für ProduzentInnen ohne vertiefendes Wissen verwendbar zu machen. Dies spiegelte sich auch darin wieder, dass die Probanden kaum Hilfe bei dem Umgang mit der neuartigen Technik anforderten.

Trotz der neuen Möglichkeiten, welche durchaus Anklang bei den Probanden fanden, ist die Adaption dieser, in zukünftige eigene Produktionsprozesse vorerst eher schwer vorstellbar. Dies wurde mit den damit verbundenen Kosten und der Umstellung bezüglich der Produktionsweise bzw. fehlenden Standardisierungsvorgängen begründet.

Jene Gestaltungsparameter welchen während der aktiven Arbeit besonders viel Aufmerksamkeit beigemessen wurden waren „Raum“ und „Bewegung“. Diese wurden am positivsten wahrgenommen und in unterschiedliche Szenarien ausgetestet. Auch wenn nicht bestätigt werden konnte, dass sich der Einsatz eines Mehrkanalsystems direkt auf die Kreativität auswirkt, wurde festgestellt, dass es die Weise wie über Klang nachgedacht wird, dessen Wirkung und einen Umgang damit verändert. Es wurde außerdem ersichtlich, dass die Produktion für dreidimensionale Umgebungen neue Arbeitsweisen erfordert und gewohnte Produktionsvorgänge nicht wie gewohnt funktionierten.

Auch wenn diese Erkenntnisse, auf Grund der kleinen Probandendichte, nicht als allgemeingültige Aussagen aufgefasst werden können, ist es doch möglich durch die beobachteten Tendenzen eine erste Abschätzung darüber zu geben, inwiefern der Einsatz von 3D-Audio Konzepten eine Rolle in dem Zusammenhang mit elektronischer Populärmusik spielt. Unter Anderem konnte beobachtet werden, dass im Zuge dieser Forschung und der Konfrontation mit einem Mehrkanalsystem, die subjektive Meinung der Probanden zu dem behandelten Themenkomplex positiv beeinflusst wurde.

8 Fazit

Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass die Wissenschaft bisher im Kontext von elektronischer Musik nur den Einsatz für Avantgarde und Installationen für 3D-Audio behandelte. Trotz einzelner Arbeiten, welche versuchen 3D-Audio in einem populären Kontext zu behandeln, zählt die Forschung auf diesem Gebiet jedoch zur Seltenheit. Eine Frage welche im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden konnte, ist warum das Vorkommen in Forschung und Anwendung sich nur so gering gestaltet obwohl Überlegungen zu dreidimensionalen Techniken bereits seit fast 50 Jahren vorhanden sind. Trotzdem konnten vermeintliche Faktoren ermittelt werden, welche einer großflächigen Entfaltung bisher repressiv gegenüberstanden.

Neben dem Versuch einer Definition des Begriffes „3D-Audio“, wurde skizziert, welche Formen eine Anwendung verschiedener Konzepte annehmen kann und in welchem Umfang diese eingesetzt werden könnte. Durch eine ergänzende Webrecherche wurde herausgefunden, dass konkrete Anwendungen in der elektronischen Popularmusik vorhanden sind, auch wenn sich diese auf einige wenige beschränken.

Aus den qualitativen Interviews mit österreichischen Musikern ging hervor, dass kein Konsens darüber vorherrscht, wie der Begriff „3D-Audio“ definiert ist und die Vorstellungen dazu weit auseinandergehen. Obwohl ein Einsatz in der Fokusgruppe als realistisch und möglich angesehen wird, empfinden die Befragten Stereo-Systeme als ausreichend um emotionale Intentionen zu transportieren. Ein Einsatz von Mehrkanalsystemen wird eher in Zusammenhang mit der Erzeugung von auditiven Effekten gesehen und bisher nicht als ernsthafte Produktionstechnik eingestuft. Das 3D-Audio Konzepte bisherige Stereo-Systeme zur Gänze ablösen könnten, hält keiner der Interviewten für ein realistisches Szenario. Eine ähnliche Meinung vertritt auch Max Cooper, welcher trotz der neuen Möglichkeiten welche für ihn gegeben sind, nicht davon überzeugt ist, dass derartige Konzepte, konventionelle Systeme ersetzen können. Er führt jedoch aus, dass beide Systeme sowohl positive als auch negative Aspekte besitzen (Cooper & Hayes, 2013).

Ein weiterer Punkt welcher in der Befragungsgruppe als kritisch gesehen wird, sind die gesteigerten Kosten welche mit einer Anwendung einhergehen. Auch Stimming, welcher positiv von einer Arbeit in dem 4DSOUND-System berichtet, empfindet neben dem Wunsch vermehrt mit dem System zu arbeiten, eine persönliche Anschaffung für zu teuer (Ableton u. a., 2014). Für einen erfolgreichen Einsatz müssten die vorerst vorherrschenden Hürden bezüglich Kostenfaktor, Standardisierung und Produktionsprozessen beseitigt werden.

Eine Erkenntnis, die sowohl aus den Interviews als auch aus der Versuchsteilnahmen hervorgeht ist, dass die Produktion von dreidimensionalem Material mit einer deutlichen Arbeitszeitsteigerung gegenüber der Produktion von Stereo-Material verbunden wird (Dengler, 2018; Hamasaki, Komiyama, Hiyama, & Okubo, 2005; Hollinetz, 2018a; Kalcic, 2018a). Der Einsatz für persönliche Projekte aus einfachem Interesse wird als unwahrscheinlich gesehen. Vielmehr müsste es sich um konkrete Projekte handeln, welche weitere externe Anreize liefern. Wären diese vorhanden, wird auch die Umstellung der Produktionsumgebung als vorstellbar gesehen.

Trotz den bestehenden Kritikpunkten, konnte beobachtet werden, dass die Überlegungen zu diesem Themenkomplex mit den Befragten resoniert und als interessant empfunden wird. Dieses Interesse konnte zusätzlich bei der Arbeit in der gestalteten Produktionsumgebung beobachtet werden, welche durchwegs als positiv empfunden wurde.

Eine Haupterkenntnis welche aus dem Versuchsaufbau hervorgeht ist, dass Mehrkanalsysteme eine veränderte Produktionsweise mit sich bringen, welche es erschwert, bisher bewährte Stereo-Produktionsprozesse in Mehrkanalsystemen anzuwenden (Hollinetz, 2018b; Kalcic, 2018b). Murcof⁴¹, ein elektronischer Musikproduzent, welcher einer der ersten Künstler war der für das 4DSOUND-System produzierte meint dazu:

„I wasted almost two days trying to adapt one of my existing pieces to the system only to discard it completely and restart from scratch. The system really demands to be heard before writing down any ideas for it, and it also pushes you to change your approach to the whole composition process. It's quite a unique environment to make music in.“ (Rothlein, Murcof, & Stimming, 2014)

⁴¹ Bürgerlicher Name Fernando Corona, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <http://www.murcof.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

Durch die Erstellung des Versuchsaufbaus und den Test durch drei Probanden der Fokusgruppe konnte festgestellt werden, dass die geschaffene Produktions- und Wiedergabeumgebung ein realistisches und anwendbares Szenario darstellt. Des Weiteren konnte durch eine Konfrontation mit einem Mehrkanalsystem die Einstellung bezüglich 3D-Audio positiv beeinflusst werden (Hollinetz, 2018b; Kalcic, 2018b). Auch Max Cooper und Stimming berichten positiv von einer Konfrontation mit dem 4DSOUND-System (Ableton u. a., 2014; Cooper & Pangburn, 2014). Als vorteilhaft gegenüber der bisherigen Arbeit in Stereo-Systemen werden dabei vor allem die erweiterten Mittel für die räumliche Positionierung und Bewegung sowie die Möglichkeit Räume zu generieren gesehen. Diese Arbeitsweise ermöglicht es RezipientInnen akustisch einzuhüllen und so ein neues Klangerlebnis zu generieren.

Auch wenn das erstellte System nachweislich ein anwendbares Szenario darstellt, sind durchaus einige Unterschiede zu Stereo-Systemen gegeben, welche eine Anpassung bezüglich der bisher gewöhnten Produktionsweise erfordern. Zusätzlich sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht alle anwendungsspezifischen Hürden beseitigt, welche die Produktion bisher weiterhin schwierig gestaltet. Neben der Änderung der Produktionsweise sind sich die Befragten sowie Max Cooper einig, dass die Arbeit mit immersiven Systemen neben einer Eingewöhnungsphase auch zusätzlich mehr Zeit für Produktion und Vorbereitung in Anspruch nimmt, jedoch Potential für Neuerungen generiert (Cooper & Hayes, 2013).

Die dargestellten Ergebnisse rechtfertigen die Aussage, dass ein Einsatz in der elektronischen Populärmusik zwar ein realistisches Szenario darstellt, ein nahtloser Übergang von konventioneller Stereo-Produktion auf Mehrkanalsysteme jedoch eher unwahrscheinlich ist. Eine rein projektbezogene Anwendung stellt dabei den realistischsten Anwendungsfall dar. Abschließend gilt es zu erwähnen, dass der erste Kontakt mit einem Mehrkanalsystem zwar einige Schlussfolgerungen zulässt, sich diese aufgrund der Kurzzeitstudie jedoch nur auf Einschätzungen und erste Trends beschränken. Wünschenswert wäre eine Langzeitstudie mit größerer Versuchsdichte, um aussagekräftigere Ergebnisse und eine bessere Beurteilung der Relevanz in dem Forschungsfeld zu ermöglichen.

9 Diskussion und Ausblick

In welcher Weise sich 3D-Audio in den kommenden Jahren weiterentwickelt bleibt abzuwarten. Konkrete Voraussagen gestalten sich schwierig, da die Techniken sowohl das Potential besitzen großflächig adaptiert zu werden, aber auch das Risiko besteht, dass der Einsatz nach einer zeitlich limitierten Hochphase wieder stagniert und von der Bildfläche verschwindet, wie es bereits ähnliche Systeme hinter sich haben.

Vor allem im Kontext der elektronischer Popularmusik würde der Einsatz von 3D-Konzepten einige neue Einsatzgebiete erschließen. Durch die aktuell vorhandene Technik in Kombination mit Erkenntnissen aus der Forschung eröffnen sich Möglichkeiten, welche bisher nur schwer oder gar nicht möglich waren. Auch wenn sich die Verwendung dieser bisher nur auf elektroakustische Musik und Installationen beschränkte, beginnen nun auch einige elektronische PopularmusikerInnen neuartige Konzepte für ihre Produktionen einzusetzen. Neben der Produktion von dreidimensionalen Musikstücken wird auch mit der Echtzeit-Manipulation räumlicher Parameter von Schallquellen in Club- oder Konzert-Kontext experimentiert. Ein Faktor welcher unter anderem erklärt warum sich die Einsätze bisher noch eher rar gestalten, ist der gesteigerte Kostenaufwand welcher mit dem Einsatz von Mehrkanalsystemen einhergeht. Dies beschränkt den Einsatz auf projektbasierte Einsätze oder kommerziell sehr erfolgreiche KünstlerInnen. Gepaart mit dem Fehlen von Standardisierungen und einer klaren Definition, liefert dies suboptimale Rahmenbedingungen für die Verbreitung von 3D-Audio. Inwieweit der Wissenstransfer zwischen Forschung und AnwenderInnen die Ausbreitung beeinflusst ist noch nicht ersichtlich.

Aus dem Einsatz im VR-Bereich und den in der Arbeit vorgestellten Anwendungsbeispielen geht hervor, dass ein Einsatz im kommerziellen Sektor möglich und realisierbar ist. Ob und in welcher Weise diese Techniken sich in diesem Sektor behaupten können hängt von verschiedenen Faktoren ab und kann wahrscheinlich erst nach einiger Zeit festgestellt werden. Sollte die Anwendung steigen, würde dies auch mit Veränderungen im Veranstaltungs- und Produktwesen einhergehen. So müsste beispielsweise das Systemdesign für Clubs und Veranstaltungsorte neu überdacht und an die veränderten Anforderungen angepasst werden. Zusätzlich müssten Lautsprecher- und ebenso andere EquipmentherstellerInnen auf die Veränderungen reagieren.

Eine andere Möglichkeit stellt die Verbreitung eines Systemes dar, welches sich auf diese Anwendung spezialisiert und somit eine quasi-genormte Produktions- und Wiedergabeumgebung für KünstlerInnen schafft. Dabei könnte es sich um flexible Lösungen wie jene von INTORNO LABS oder um restriktivere Systeme wie 4DSOUND oder Envelop handeln. Neben diesen Systemen könnte auch der Einsatz von portablen, geometrisch genormten Systemen die Verbreitung von 3D-Audio begünstigen. Einsätze solcher portablen Systeme gibt es beispielsweise im Fall von „Envelop Satellite“ oder dem „Ambisonic Klangdome“, welche es ermöglichen, immersive Technologien einer größeren Öffentlichkeit zugänglich zu machen (Envelop, o. J.-a; Jo Jauch & Romanov, 2017). Wie auch immer sich die Zukunft diesbezüglich gestaltet, würde eine größere Zahl an öffentlich zugänglichen Orten, wie bereits von 4DSOUND und Envelop vorhanden, mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen positiven Austausch zwischen Wissenschaft, Anwendung und Wahrnehmung von immersiven Technologien auswirken.

Eine Erkenntnis, welche im Zuge dieser Arbeit aus Recherche und den Forschungsergebnissen hervorgeht ist, dass sich die Verwendung einer Mehrkanaltechnik auch auf die Produktionsweise auswirkt. Diese beeinflusst nicht nur die zugrundeliegende Herangehensweise, sondern erfordert auch die Schaffung von neuen Gestaltungskriterien. Bisher bekannte Mischgrundsätze, sowie der Umgang mit Raum und Bewegungen müssten für zukünftige Produktionen neu formalisiert werden. Auch wenn es grundsätzlich möglich ist bisherige Stereo-Produktionen in einen 3D-Kontext zu bringen, führt dies zu einem erhöhten Arbeitsaufwand. Dies wirft die Überlegung auf ob Stereo-Produktionen nicht ganzheitlich anders zu behandeln sind, da sie klangästhetisch gänzlich anderen Normen folgen. Zusätzlich zu künstlerisch-kreativen Vorgehensweisen ist es wichtig, sich mit der Standardisierung von Produktion, Distribution und Wiedergabe zu beschäftigen. Weitere Gedanken die sich zu diesen Themen gemacht werden können, betreffen die Lautheit bzw. den Masteringprozess von 3D-Audio Musikproduktionen. Auch wenn bereits einige Forschungsarbeiten vorhanden sind, welche die Wechselwirkung zwischen elektroakustischer Musik und Raum behandeln, gibt es diese nicht im Kontext der elektronischen Populärmusik. Es wird vorgeschlagen, die Gestaltungskriterien und Produktionsmöglichkeiten, welche sich durch neuartige 3D-Audio Konzepte für den Einsatz in populärer elektronischer Musik ergeben, neu zu erforschen.

Bedingt durch psychoakustischen Phänomene, welche die Wiedergabe über eine große Zahl von Lautsprechern mit sich bringt, verändern sich auch die Hörgewohnheiten. Dies wirft die Frage auf, inwiefern das Hören in derartigen Systemen erst erlernt werden muss. Paul Oomen meint dazu:

“By exploring new ways of listening spatially, and discovering new subtleties in our capacity to perceive sound, we are examining the role that sound plays in consciousness. We become aware of the way we perceive, and we challenge to what extent we are able to perceive consciously, or unconsciously.” (4DSOUND & Oomen, 2016)

Auch Stimming vertritt bezüglich der Arbeit in dem 4DSOUND-System die Meinung, dass Menschen es nicht gewohnt sind auf diese Weise zu hören:

„The excitement even a very simple sound produces is huge, so stripping everything down to basic sounds was something very important. Our ears are not used to hearing artificial sounds as real sounds, so our senses are overexcited.” (Rothlein u. a., 2014)

Martin Solveig⁴², ein französischer House-Produzent, kann sich ebenfalls vorstellen, dass 3D-Audio massiven Einfluss darauf haben könnte, wie Musik zukünftig wahrgenommen wird. So ist es beispielsweise möglich, Zuhörer bei einem Live-Einsatz in einer neuen Klangumgebung zu positionieren und so ein neuartiges Erlebnis für RezipientInnen zu kreieren (Solveig & Sennheiser, 2016). Weiters empfindet er, dass jede Veränderung unserer Hörgewohnheiten, auch eine Umstrukturierung zur Folge haben kann wie Musik produziert wird (Solveig & Ullrich, 2016).

Auch wenn KünstlerInnen Interesse an diesem Themenkomplex äußern, stellt sich weiterhin die Frage inwiefern der Einsatz von 3D-Audio Technologie aus Sicht der KonsumentInnen gesehen wird. Um herausfinden zu können inwiefern diese Entwicklung erwünscht bzw. ob diese überhaupt nötig ist, bedarf es weiterer Untersuchungen.

Eine Einsicht die ohne weitere Forschung festgestellt werden kann ist, dass sowohl die Wahrnehmung als auch die Produktion von 3D-Audio eine Auswirkung auf die Wahrnehmung und den Umgang mit Klang besitzen.

⁴² Bürgerlicher Name Martin Picandet, vgl. Künstlerhomepage, abgerufen von <http://www.martinsolveig.com/>, letzter Aufruf am 13.01.2019.

Literaturverzeichnis

4DSOUND. (2016a, Februar 9). *A Year in 4DSOUND, Part I: Techno Is Space* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/blog/a-year-in-4dsound-part-1>

4DSOUND. (2016b, April 1). *Spatial Sound Hacklab at ZKM: A Review* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/blog/2016/3/29/spatial-sound-hacklab-at-zkm-a-review>

4DSOUND. (2017, Oktober 29). *MONOM Berlin's Centre For Spatial Sound opens on 1st December* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/blog/2017/10/28/monom-berlins-centre-for-spatial-soundopens-on-1st-decemberopens-on-1st-december>

4DSOUND. (o. J.-a). *4DSOUND* [Produktwebsite]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/>

4DSOUND. (o. J.-b). *4DSOUND - About* [Produktwebsite]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/about/>

4DSOUND. (o. J.-c). *4DSOUND - System* [Produktwebsite]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/system-details/>

4DSOUND, & Oomen, P. (2016, Februar 1). *Understanding Space Through Sound* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 27. Dezember 2018, von <http://www.4dsound.net/blog/understanding-space-through-sound>

Ableton, & Breed, S. (2014, September 29). *Interaction with 4DSOUND & Ableton Live* [Videodatei]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von https://www.youtube.com/watch?time_continue=49&v=DMWEEGUIJco

Ableton, Oomen, P., & Stimming, M. (2014, September 29). *4DSOUND: A New Dimension | Ableton* [Videodatei]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=WvM-SxrMv6s&t=623s>

- ageHa, & Dolby Japan. (2018, Mai 24). 【ageHaのサウンドが変わる！？「Dolby Atmos for Music」アジア初体験！！】今週土曜日に開催されるPure TranceのヘッドライナーSolarstoneのセットを立体音響技術「Dolby Atmos（ドルビーアトモス）」とオクタゴンスピーカーとの組み合わせで、異次元のクラブサウンドを体験できる！[Tweet]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von https://twitter.com/ageHa_Tokyo/status/999623604198260736
- Ali Shirazinia, & INTORNO LABS. (2018, Juli 19). *DUBFIRE @ IMS Ibiza | „Immersive Sound is the Future of Clubbing“* [Videodatei]. Ibiza. Abgerufen 18. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=NRTfu0wspMc>
- Amate Audio S.L. (2016, Februar 28). *MUTEK [ES] Intorno Labs powered by Amate Audio event* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 18. Dezember 2018, von amateaudio.com/en/mutek-intorno-labs-powered-by-amate-audio-event/
- Amate, J., Vignaga, L., & Amate Audio S.L. (2016, März 29). *Amate Audio & INTORNO LABS at Mutek [ES] festival* [Videodatei]. Barcelona, Spanien. Abgerufen 18. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=OJDAIu-eICl>
- Ashokan, A. (2015, April 3). DTS:X Launches on April 9th, Dolby Atmos Rival Arrives. *GadgetsNGaming*. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <http://gadgetsngaming.com/2015/04/03/dtsx-launches-on-april-9th-dolby-atmos-rival-arrives/>
- Audio Rehab. (2016, Februar 8). *Mark Radford - Dolby Atmos Experience Interview* [Videodatei]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=NR07Mb1ZUEs>
- Auro Technologies. (2014a, August 8). *Mando Diao release world's first pop album in Auro-3D® immersive sound* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.auro-3d.com/press/2014/08/mando-diao-release-worlds-first-pop-album-in-auro-3d-immersive-sound/>
- Auro Technologies. (2014b, Oktober 28). *Tiësto's Album "Elements of Life" available in Auro-3D® as of December 2014* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.auro-3d.com/press/2014/10/tiestos-album-elements-of-life-available-in-auro-3d-as-of-december-2014/>
- Auro Technologies. (2015a, März 9). *Ozark Henry's 'Paramount' Released In Auro 9.1 Immersive Audio* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.auro-3d.com/press/2015/03/ozark-henrys-paramount-released-in-auro-9-1-immersive-audio/>

- Auro Technologies. (2015b, August 25). *Parallax Eden to be released in Auro-3D* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.auro-3d.com/press/2015/08/parallax-eden-to-be-released-in-auro-3d/>
- Auro Technologies. (2015c, Oktober 28). *Auro-3D - Home Theater Setup Guidelines*. Abgerufen 10. September 2018, von https://www.auro-3d.com/wp-content/uploads/documents/Auro-3D-Home-Theater-Setup-Guidelines_lores.pdf
- Auro Technologies. (2016, September 4). *Auro Technologies Auro-Matic Pro - User Guide*. Abgerufen 11. September 2018, von <https://www.auro-3d.com/wp-content/uploads/documents/Auro-Matic-Pro-Dokumentation.pdf>
- Auro Technologies, & Barco. (2015, November 24). *AUROMAX® Next generation Immersive Sound system*. Abgerufen 11. September 2018, von https://www.auro-3d.com/wp-content/uploads/documents/AuroMax_White_Paper_24112015.pdf
- Auro Technologies, & Schwartz Public Relations. (2016, März 29). *Auro-3D®-Upgrade für Premium-AV-Receiver von Denon* [Pressemeldung]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von http://www.schwartzpr.de/de/newsroom/pressemeldung.php?we_objectID=3513&kunde=2284
- Backes & Müller. (o. J.). *Warum funktioniert Stereo überhaupt und warum braucht man dazu exzellente Boxen muss es unbedingt die B&M Regelungstechnik sein?* Abgerufen 28. Dezember 2018, von <http://www.backesmueller.de/de/bm-technologien.html?file=files/extern/content/pdf/de/Stereo.pdf>
- Barco. (2015a, März). *»Björk« at Museum of Modern Art* [Case Study]. New York: MoMa. Abgerufen 7. Dezember 2018, von http://www.iosono-sound.com/fileadmin/user_upload/pdf/Case_Study_Attractions_Bjork_MoMA.pdf
- Barco. (2015b, September 22). *IOSONO CORE audio processor - Immersive sound for events and visitor attractions*. Abgerufen 18. September 2018, von http://www.iosono-sound.com/fileadmin/user_upload/pdf/2015_BARCO_-_IOSONO_CORE_specs.pdf
- Barco. (2017, Juli 31). *Spatial Audio Workstation User Manual*. Abgerufen 18. September 2018, von http://www.iosono-sound.com/uploads/downloads/SAW_User_Manual_24.pdf
- Barco. (2018, Januar 21). *IOSONO CORE - Audio processor for immersive sound experiences*. Abgerufen 18. September 2018, von <https://www.barco.com/services/website/en/ProductSpecSheet/ProductSpecSheetFile?productId=a847db1c-f7d6-4b37-93d4-3f70d59c5633>

- Barco. (o. J.). *Barco Audio Technologies - IOSONO 3D Sound for Live Events*. Abgerufen 18. September 2018, von <https://az877327.vo.msecnd.net/~media/downloads/brochures/i-iosono/iosono%20sound%20for%20live%20events%20pdf.pdf?v=1>
- Barco. (o. J.). *IOSONO Sound: Clubs* [Produktwebsite]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <http://www.iosono-sound.com/references/clubs/>
- Basnicki, E. (2015, Juli 2). Feature: The rise of immersive audio. *Audio Media International*. Abgerufen 26. Juli 2018, von www.audiomediainternational.com/business/feature-the-rise-of-immersive-audio
- Bates, E. (2009). *Fig. 4.8 Directivity patterns of various ambisonic decoding schemes* [Wissenschaftsplattform]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von https://www.researchgate.net/figure/Directivity-patterns-of-various-ambisonic-decoding-schemes_fig13_267852835
- Begault, D. R. (1994). *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia* (NASA digital reprint). Moffett Field, California, USA: Academic Press Inc. Abgerufen 6. September 2018, von <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20010044352.pdf>
- Bennett, S. (2017, Dezember 5). Spatial Awareness: Inside the world of immersive sound design. *Audio Media International*. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.audiomediainternational.com/business/spatial-awareness-inside-the-world-of-immersive-sound-design>
- Blauert, J. (1969). Sound Localization in the Median Plane. In *Acta Acustica united with Acustica* (Vol. 22(4), S. 205-213). Abgerufen 6. August 2018, von https://www.researchgate.net/publication/263716618_Sound_Localization_in_the_Median_Plane/download
- Blauert, J., & Braasch, J. (2008). Räumliches Hören. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (1. Aufl., S. 87-123). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Boehmer, M. (2017, April 5). *Huygens'sches Prinzip*. [Vorlesungsfolien]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://slideplayer.org/slide/2336651/8/images/3/Huygensssches+Prinzip+Fortpflanzungsrichtung+Wellenfronten.jpg>
- Bordignon, R., & Mattana A. (2016, September 12). *3D Audio Talks: DJ Robert Bordignon* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 24. Juli 2018, von <https://hookeaudio.com/blog/2016/09/12/3d-audio-talks-dj-robert-bordignon/>

- Boren, B. (2018). History of 3D Sound. In A. Roginska & P. Geluso (Hrsg.), *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 40-63). Oxford, New York: Routledge.
- Breed, S. (o. J.). *4DSOUND — Salvador Breed* [Persönliche Website]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://salvadorbreed.com/4DSOUND>
- Buchanan, R. (2013, Februar). *Kraftwerk »The Catalogue 12345678«* [Case Study]. London, UK. Abgerufen 7. Dezember 2018, von iosono-sound.com/fileadmin/user_upload/pdf/Case_Study_Live_Kraftwerk.pdf
- Burns, V. (2016, März 30). Behind the scenes with Dolby Atmos at Ministry of Sound. *What Hi-Fi?*. Abgerufen 20. Dezember 2018, von <https://www.whathifi.com/features/behind-scenes-dolby-atmos-ministry-sound>
- Cepheiden. (2017, Dezember 26). Blauertsche Bänder. In *Wikipedia*. Abgerufen 28. Dezember 2018, von https://de.wikipedia.org/wiki/Blauertsche_B%C3%A4nder
- CJ Mirra, & Potter, S. (2017, September 30). How spatial sound design is opening a new frontier. *FACT*. Abgerufen 28. Juli 2018, von <http://www.factmag.com/2015/09/30/spatial-sound/>
- Cockos, Inc. (2018). REAPER | Audio Production Without Limits [Produktwebsite]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://www.reaper.fm/>
- Cooper, M. (2013, Oktober 24). *Max Cooper on the 4D Soundsystem* [Videodatei]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=-GUKdsM75kw>
- Cooper, M., & Hayes, T. (2013, Dezember 6). How The Fourth Dimension Of Sound Is Being Used For Live Concerts. *Fast Company*. Abgerufen 20. Dezember 2018, von <https://www.fastcompany.com/3023116/how-the-fourth-dimension-of-sound-is-being-used-for-live-concerts>
- Cooper, M., & Pangburn, D. J. (2014, Juni 5). Enter An Alternate Sensory Reality With Max Cooper's 4D Sound Show. *VICE*. Abgerufen 20. Dezember 2018, von https://www.vice.com/en_us/article/wnpdnq/enter-an-alternate-reality-with-max-coopers-4d-sound-show
- Cox, J. (2015, November 30). Dolby brings Atmos to music producers and clubs. *What Hi-Fi?*. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://www.whathifi.com/news/dolby-brings-atmos-to-music-producers-and-clubs>

- Darey, M., & Farmer, G. (2017, Dezember 5). *5 Reasons Why 3D Sound Will Change Electronic Music* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 24. Juli 2018, von <https://datatransmission.co/blog/5-reasons-3d-sound-will-change-electronic-music/>
- Despont, M. (2017, Oktober 17). *Est-ce que la fréquence de Schumann augmente vraiment?* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://martouf.ch/2017/10/est-ce-que-la-frequence-de-schumann-augmente-vraiment/>
- Dickreiter, M., & Goeres-Petri, J. (2014). Schallwahrnehmung. In *Handbuch der Tonstudiotechnik* (8., überarbeitete und erweiterte, Bd. 1, S. 115-136). Berlin/Boston: De Gruyter Saur.
- Dolby Laboratories, Inc. (2012, Mai 3). *Dolby Atmos - Next-Generation Audio for Cinema - Whitepaper*. Abgerufen 13. September 2018, von <https://www.hollandfilmnieuws.nl/files/whitepaper-dolbyatmos.pdf>
- Dolby Laboratories, Inc. (2015, April). *Dolby Atmos Home Theater Installation Guidelines*. Abgerufen 20. Dezember 2018, von https://www.stormaudio.com/media/dolbyatmoshometheaterinstallationguidelines__085587300_1128_11082016.pdf
- Dolby Laboratories, Inc. (2017a, Januar). *Dolby Atmos Stem Creation Guide*. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.dolby.com/us/en/technologies/music/dolby-atmos/dolby-atmos-stem-creation-guide.pdf>
- Dolby Laboratories, Inc. (2017b, Juli). *Dolby Atmos® Home Theater Installation Guidelines*. Abgerufen 14. September 2018, von <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-atmos/dolby-atmos-home-theater-installation-guidelines.pdf>
- Dolby Laboratories, Inc. (2018a, Juni). *Dolby Atmos for sound bar applications*. Abgerufen 17. September 2018, von <https://www.dolby.com/us/en/technologies/dolby-atmos/dolby-atmos-for-sound-bar-applications.pdf>
- Dolby Laboratories, Inc. (2018b, Oktober 24). *Dolby Atmos for Music* [Produktwebsite]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.dolby.com/us/en/technologies/music/dolby-atmos.html>
- Dresing, T., & Pehl, T. (2018). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (8 Auflage). Marburg: Eigenverlag.

- DTS, Inc. (2015, April 9). *Welcome To DTS:X - Open, Immersive And Flexible Object-Based Audio Coming To Cinema And Home*. Abgerufen 25. September 2018, von <https://investor.xperi.com/static-files/2e9ddec8-a4f6-4b51-bfb7-13fb51f740bc>
- Envelop. (2015, April 9). *ENVELOP - 3D Sound* [Kickstarter Kampagne]. Abgerufen 17. Dezember 2018, von <https://www.kickstarter.com/projects/envelop/envelop-3d-sound>
- Envelop. (o. J.-a). *Envelop* [Produktwebsite]. Abgerufen 17. Dezember 2018, von <http://www.envelop.us/>
- Envelop. (o. J.-b). *Envelop FAQ* [Produktwebsite]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <http://www.envelop.us/faq/>
- Envelop. (o. J.-c). *Envelop for Live* [Produktwebsite]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <http://www.envelop.us/software/>
- Envelop. (o. J.-d). *Envelop Satellite* [Produktwebsite]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <http://www.envelop.us/envelop-satellite/>
- Envelop. (o. J.-e). *Envelop SF* [Produktwebsite]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <http://www.envelop.us/envelop-sf/>
- Fellgett, P. (1975). Ambisonics. Part one: General system description. *Studio Sound and Broadcast Engineering*, 17(8), 20-22.
- Francey, M. (2018, Oktober 9). *Deadmau5 And Knife Party To Play November Day Party* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.ministryofsound.com/posts/articles/2018/october/deadmau5-and-knife-party-to-play-november-day-party/>
- Frank, M. (2014). How to make Ambisonics sound good. *Forum Acusticum*, Krakau: European Acoustics Association. Abgerufen 21. Dezember, von iaem.at/Members/frank/files/2014_frank_howtomakeambisonicssoundgood.pdf
- Fraunhofer IDMT. (2004, Januar 14). *IOSONO - Ein revolutionäres Soundsystem für den perfekten Hörgenuss*. Abgerufen 18. September 2018, von http://www.newsropa.de/uploads/tx_userpressemappe/IOSONO_deutsch.pdf
- Fraunhofer IDMT. (2013, Juli 17). *SpatialSound Wave im Showroom der Shure Europe GmbH*. Abgerufen 25. September, 2018, von https://www.idmt.fraunhofer.de/content/dam/idmt/documents/IL/shure_en.pdf

- Fraunhofer IDMT. (2017, März). *SpatialSound Wave*. Abgerufen 25. September 2018, von
idmt.fraunhofer.de/content/dam/idmt/documents/IL/spatialsound_wave_de.pdf
- Gerzon, M. A. (1973). Periphony: With-height sound reproduction. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(1), 2–10.
- Gerzon, M. A. (1975). The design of precisely coincident microphone arrays for stereo and surround sound. *Proceedings of the 50th Audio Engineering Society Convention*. London, UK.
- Görne, T. (2011). *Tontechnik* (3., neu bearbeitete Auflage). München: Carl Hanser Verlag.
- Grau, O. (2003). *Virtual Art - From Illusion to Immersion* (Rev. and expand. ed.). Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Guttenberg, S. (2016, Mai 7). Audio-only VR: Is it ready for prime time?. *CNET*. Abgerufen 23. Juli 2018, von
<https://www.cnet.com/news/vr-for-audio-still-not-ready-for-prime-time/>
- Halcyon. (2018). *Fri Dec 21 - Doorly (Dolby Atmos Set)* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <http://www.halcyon-sf.com/main/sat-sept-29-doorly-dolby-atmos-set/>
- Hamasaki, K., & Hiyama, K. (2006). Development of a 22.2 Multichannel Sound System. *Broadcast Technology*, 25, 9-13.
- Hamasaki, K., Komiyama, S., Hiyama, K., & Okubo, H. (2005). 5.1 and 22.2 Multichannel Sound Productions Using an Integrated Surround Sound Panning System. In *2005 NAB-BEC Proceedings*. S. 382-387, Las Vegas, USA. Abgerufen 19. Dezember 2018, von
pdfs.semanticscholar.org/ef31/e573b1b443a06e788e5602dd3ee7ac443708.pdf
- He, J. (2017). Literature Review on Spatial Audio. In *Spatial Audio Reproduction with Primary Ambient Extraction* (S. 7–37). Singapore: Springer Singapore.
- HEAD acoustics GmbH. (2017, Juli 19). *HEAD acoustics - News & Publikationen News - HMS II.3: Kunstkopf-Messsystem von HEAD acoustics für Super-Wideband-Tests geeignet* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von
https://www.head-acoustics.com/de/news_HEAD_acoustics_HMS_Super_Wideband_Tests.htm

- Hoepfner, D. (2018, Mai 15). 3D- und Immersive Sound – alles nur wie Quadro?. *PRODUCTION PARTNER*. Abgerufen 23. Juli 2018, von www.production-partner.de/story/3d-und-immersive-sound-alles-nur-wie-quadro/
- Hospital Records. (2015, Dezember 15). *Hospital Records – ULTRASOUND 23.01.16: Introducing Soulvent Records* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://www.hospitalrecords.com/news/ultrasound-23-01-16-introducing-soulvent-records/>
- Huber, D. M., & Ramsey, C. (2017, August 17). Making fully immersive music with Auro-3D - Audio Media International. *Audio Media International*. Abgerufen 28. Juli 2018, von <https://www.audiomediainternational.com/studios-recording/making-fully-immersive-music-with-auro3d>
- INTORNO LABS. (2018). *INTORNO LABS Tech Deck – Multi- Dimensional Audio Technology For Live Sound Productions, Immersive Installations And Beyond*.
- INTORNO LABS. (o. J.-a). *INTORNO* [Produktwebsite]. Abgerufen 18. Dezember 2018, von <http://www.intorno.xyz/>
- INTORNO LABS. (o. J.-b). *INTORNO - Technology* [Produktwebsite]. Abgerufen 18. Dezember 2018, von <http://intorno.xyz/#/technology>
- ITU. (2013). *Framework of future audio broadcasting systems* (Report ITU-R BS.2266). Genf: ITU. Abgerufen 28. August 2018, von https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.2266-2013-PDF-E.pdf
- Jauch, J., & Romanov, M. (2017). *Ambisonic Hits The Road!*. Gehalten auf der ICSA 2017, Graz, Österreich.
- Kalker, T., Robinson, C. Q., & Vessa, B. (2014). *Immersive Sound For Cinema - Standards Update Webcast*. [Vortragsfolien, Webcast]. Abgerufen 14. August 2018, von https://www.smppte.org/sites/default/files/2014-11-04-ST-Immersive_Sound-Lude-v3-Handout.pdf
- Kim, S. (2018). Height Channels. In A. Roginska & P. Geluso (Hrsg.), *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 221-244). Oxford, New York: Routledge.
- Kronlachner, M. (2012, September). Ambisonics Binaural Dekoder Implementation als Audio Plug-In mit Headtracking zur Schallfeldrotation. Universität für Musik und darstellende Kunst Graz.

- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3., überarbeitete Auflage). Weinheim Basel: Beltz Juventa.
- Küster, J. (2018, Juli 12). 3D-Audio: Immersion für die Ohren. *EVENT PARTNER*. Abgerufen 23. Juli 2018, von <https://www.event-partner.de/eventtechnik/3d-audio-immersion-fuer-die-ohren/>
- Kvart & Bøllge, Inc. (2015, Juni 21). *Wave Field Synthesis: Living Inside the Sound | Kvart & Bøllge | Audiophile Quarter-Wave Full-Range Speakers* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://www.kvart-bolge.com/single-post/2015/06/21/Wave-Field-Synthesis-Living-Inside-the-Sound>
- KVR Audio, Inc. (2014, Oktober 14). *sonicLAB releases Cosmosf vSaturn WFS edition with Wave Field Synthesis Audio Rendering Support* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://www.kvraudio.com/news/soniclab-releases-cosmos-vsatur-n-wfs-edition-with-wave-field-synthesis-audio-rendering-support-27703>
- Licht, A. (2007). *Sound Art -Beyond Music, Between Categories*. New York: Rizzoli.
- Lossius, T., Baltazar, P., & de la Hogue, T. (2009). DBAP - Distance-Based Amplitude Panning. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*. Montreal, Canada. Abgerufen 23. September 2018, von pdfs.semanticscholar.org/8fed/f0c12b58d4af2a94af6a817021ee812bf6a8.pdf
- mh acoustics, LLC. (2016). *Eigenbeam Data - Specification for Eigenbeams*. Abgerufen 29. Dezember 2018, von https://mhacoustics.com/sites/default/files/Eigenbeam%20Datasheet_R01A.pdf
- MIRA. (2018). *Schedule MIRA 2018 - 8,9,10 November* [Veranstaltungsprogramm]. Abgerufen 18. Dezember 2018, von <https://www.mirafestival.com/en/programme/>
- MOME. (2018). *4D Spatial Sound Workshop* [Workshop-Website]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <http://open.mome.hu/4d-spatial-sound/>
- MONOM. (o. J.). *MONOM - About* [Website]. Abgerufen 15. Dezember 2018, von <https://www.monomsound.com/about/>
- Mühlschlegel, A., Romanov, M., & Hoppe, A. (2017). *Aesthetics of modern pop culture in music & sound design on 3D-audio spatialization systems - a commercial approach*. Gehalten auf der ICSA 2017, Graz.

- MUTEK. (2016). *MUTEK Festival - Experience 1* [Veranstaltungsprogramm]. Abgerufen 18. Dezember 2018, von <http://www.mutek.org/en/spain/2016/events/1130-experience-1>
- Naruse M. (2018, Juni 26). DOLBY ATMOS for Musicがダンスミュージックにもたらす“新たな音楽体験” | クラベリア. *Clubberia*. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://clubberia.com/ja/reports/2321-DOLBY-ATMOS-for-Music/>
- Neal, M. (2016, März 8). Why Are We Still Listening to Music in Two Dimensions?. *Motherboard*. Abgerufen 23. Juli 2018, von https://motherboard.vice.com/en_us/article/pgka5z/why-are-we-still-listening-to-music-in-two-dimensions
- Nettingsmeier, J. (2010). *Higher-order Ambisonics - A future-proof 3D audio technique*. Gehalten auf der 26. Tonmeistertagung, Leipzig, Deutschland. Abgerufen 15. Dezember 2018, von https://www.researchgate.net/publication/308785855_Higher_order_Ambisonics_-_a_future-proof_3D_audio_technique/download
- Nicol, R. (2018). Sound Field. In A. Roginska & P. Geluso (Hrsg.), *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 276-311). Oxford, New York: Routledge.
- Pulkki, V. (1997). Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning. In *J. Audio Eng. Soc* (Vol. 45, S. 456-466). Abgerufen 22. September 2018, von <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=19125>
- Raffaseder, H. (2010). *Audiodesign* (2. Auflage). München: Carl Hanser Verlag.
- Rat für Forschung und Technologieentwicklung. (2013, Dezember 3). *Empfehlung zu einer optimierten Proof-of-Concept-Unterstützung im Wissenstransfer*.
- Robjohns, H. (2017, Januar). Dolby Atmos At The Ministry Of Sound. *Sound On Sound*. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.soundonsound.com/techniques/dolby-atmos-ministry-sound>
- RØDE Microphones. (2018). *RØDE Microphones - NT-SF1* [Produktwebsite]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <http://www.ode.com/microphones/ntsf1>
- Roginska, A., & Geluso, P. (2018). Introduction. In *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 1-5). Oxford, New York: Routledge.

- Rothlein, J., Murcof, & Stimming. (2014, Juli 25). 4DSOUND: A new sound experience. *Resident Advisor*. Abgerufen 27. Dezember 2018, von <https://www.residentadvisor.net/features/2093>
- Rudolph, D., & Erb, E. (2014, Dezember 20). Die Fourier-Analyse physikalisch. *Radiomuseum.org*. Abgerufen 29. Dezember 2018, von https://www.radiomuseum.org/forum/die_fourier_analyse_physikalisch.html?language_id=1
- Rudrich, D. (2018). *IEM Plug-In Suite* [Produktwebsite]. Abgerufen 22. Oktober 2018, von <https://plugins.iem.at/>
- SAE Institute. (2014, Oktober 19). *Teaser: Music Production for Spatial Soundwave*. [Videodatei]. Köln, Deutschland. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=QAPjcWRUP2k>
- Sennheiser. (2018). *Sennheiser AMBEO® VR Mic - 3D AUDIO Mikrofon* [Produktwebsite]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://de-de.sennheiser.com/mikrofon-3d-audio-ambeo-vr-mic>
- Sharma, G. K., & Schultz, F. (2017). Are Loudspeaker Arrays Musical Instruments?. Gehalten auf der ICSA 2017, Graz, Österreich.
- Slavik, K. M., & Weinzierl, S. (2008). Wiedergabeverfahren. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (1. Aufl., S. 609-687). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Slee, M., & Envelop. (2018, April 20). *Implementing a Custom Decoder · EnvelopSound/EnvelopForLive Wiki · GitHub* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 17. Dezember 2018, von github.com/EnvelopSound/EnvelopForLive/wiki/Implementing-a-Custom-Decoder
- Solveig, M., & Sennheiser. (2016, November 27). *Martin Solveig x Sennheiser – An outstanding collaboration | Sennheiser* [Videodatei]. Abgerufen 20. Dezember 2018, von <https://www.youtube.com/watch?v=jwu5l38sRnk&index=17&list=PLPv-clLf8-qIP51Vy139MJ4GmMynLLDr>
- Solveig, M., & Ullrich, G. (2016). *Martin Solveig: Melancholic Groove in 3D* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 20. Dezember 2018, von sennheiser.com/shape-the-future-of-audio-martin-solveig-places-ambeo-3d

- Sound-Bar. (2018). *Sound-Bar :: Pegboard Nerds in Dolby ATMOS* [Event-Info]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <http://soundbar.uvtix.com/event/uv1609432840dt181214/pegboard-nerds-in-dolby-atmos/>
- SoundField. (2018). *SoundField | Microphones and Processors with unique surround sound capabilities* [Produktwebsite]. Abgerufen 13. Dezember 2018, von <http://www.soundfield.com>
- Sporer, T., Brandenburg, K., Brix, S., & Sladeczek, C. (2018). Wave Field Synthesis. In A. Roginska & P. Geluso (Hrsg.), *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 311-333). Oxford, New York: Routledge.
- Sub Focus. (2016, September 22). *Sub Focus x Dolby Atmos x Ministry of Sound* [Videodatei]. Abgerufen 7. Dezember 2018, von https://www.youtube.com/watch?v=oOsbyv_E2gc
- Theile, G., Dickreiter, M., Graul, W., Camerer, F., & Spikofski, G. (2014). Tonaufnahme und Tonwiedergabe. In *Handbuch der Tonstudientechnik* (8., überarbeitete und erweiterte, Bd. 1, S. 217-370). Berlin/Boston: De Gruyter Saur.
- Titlow, J. P. (2017, Mai 6). Can Spatial 3D Audio Reinvent Live Music?. *Fast Company*. Abgerufen 26. Juli 2018, von www.fastcompany.com/40425973/can-spatial-3d-audio-reinvent-live-music
- Tsingos, N., Roginska, A., & Geluso, P. (2018). Object-Based Audio. In *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 244-276). Oxford, New York: Routledge.
- TU Berlin, & FG Audiokommunikation. (2018, September 26). *Technische Universität Berlin - Fachgebiet Audiokommunikation* [Universitätswebsite]. Abgerufen 28. Dezember 2018, von https://www.ak.tu-berlin.de/menue/fachgebiet_audiokommunikation/
- van Baelen, W., Bert, T., Claypool, B., & Sinnaeve, T. (2012). *Auro 11.1 - A new dimension in cinema sound*. Abgerufen 10. September 2018, von https://www.barco.com/secureddownloads/cd/MarketingKits/3d-sound/White%20papers/Auro%2011.1_A%20new%20dimension%20in%20cinema%20sound.pdf
- van Eck, C. (2017). *Between Air and Electricity - Microphones and Loudspeakers as Musical Instruments* (1. Aufl.). Bloomsbury Academic.

- Vessa, B. (2018, August 9). *What is Immersive Audio & Why is it So Cool?* [Vorlesungsfolien, Webcast]. Abgerufen 28. August 2018, von www.smppte.org/sites/default/files/2018-08-08-ST-Immersive-Vessa-Handout.pdf
- Virostek, P., & Marchant, M. (2015, November 4). *A Month of Field Recordists: Michel Marchant | Creative Field Recording* [Web Log Eintrag]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://www.creativefieldrecording.com/2015/11/04/a-month-of-field-recordists-michel-marchant/>
- Ward, P. (2017, April 19). The rise of 3D Audio. *PSNEurope*. Abgerufen 7. Dezember 2018, von <https://www.psneurope.com/business/the-rise-of-3d-audio>
- Weinzierl, S. (2008). Aufnahmeverfahren. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (1. Aufl., S. 551-609). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wenzel, E. M., Begault, D. R., & Godfroy-Cooper, M. (2018). Perception of Spatial Sound. In *Immersive Sound: The Art and Science of Binaural and Multi-Channel Audio* (1. Aufl., S. 5-40). Oxford, New York: Routledge.
- Westlake Pro, & DTS, Inc. (o. J.). *DTS:X Content Creator Suite—Buy now at Westlake Pro* [Händlerwebsite]. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://westlakepro.com/product/dtsx-creator-suite/>
- Wilmsmann, M. (2013, Januar 24). Kraftwerk: Wellenfeldsynthese in der Kunstsammlung NRW. *Event Elevator*. Abgerufen 30. Dezember 2018, von <https://eventelevator.de/stories/kraftwerk-wellenfeldsynthese-in-der-kunstsammlung-nrw/>
- Wittek, H. (2015, November). *3D-Audio*. [Vorlesungsfolien], Stuttgart. Abgerufen 23. Dezember 2018, von https://www.hauptmikrofon.de/HW/Wittek_3D_Audio_05112015.pdf
- Wittek, H., & Theile, G. (2016). Die Anwendung eines stereofonen Mehrkanalverfahrens für 3D-Audio und VR. Gehalten auf der 29. Tonmeistertagung, Köln, Deutschland. Abgerufen 5. Dezember 2018, von https://www.hauptmikrofon.de/HW/WittekTMT29_11_2016.pdf
- Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 1(1), Art. 22.
- Zoom North America. (2018, August 27). Zoom H3-VR Handy Recorder [Produktwebsite]. Abgerufen 29. Dezember 2018, von <https://www.zoom-na.com/products/field-video-recording/field-recording/zoom-h3-vr-handy-recorder>

Zotter, F., & Frank, M. (2012). All-Round Ambisonic Panning and Decoding. *Journal of the Audio Engineering Society*, 60(10), 807-820.

Interviewverzeichnis

Sämtliche geführten Interview sind in voller Länge als Audioaufzeichnung und in transkribierter Form auf dem der Arbeit beigelegten Datenträger zugänglich. Die hier aufgeführten Interviews sind nach Durchführungsdatum sortiert.

Interviewphase 1:

Interview 1:

InterviewpartnerIn	Daniel Kohlmeigner
Ort	Wien
Datum, Zeit	30.08.2018, 15:20
Quellenverweis	Kohlmeigner, D. (2018, August 30). <i>Persönliches Interview zum Thema 3D-Audio</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interview 2:

InterviewpartnerIn	Daniel Hollinetz
Ort	Wien
Datum, Zeit	12.09.2018, 15:15
Quellenverweis	Hollinetz, D. (2018a, September 12). <i>Persönliches Interview zum Thema 3D-Audio</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interview 3:

InterviewpartnerIn	Peter Kalcic
Ort	Wien
Datum, Zeit	13.09.2018, 15:30
Quellenverweis	Kalcic, P. (2018a, September 13). <i>Persönliches Interview zum Thema 3D-Audio</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interview 4:

InterviewpartnerIn	Sixtus Preiss
Ort	Wien
Datum, Zeit	20.09.2018, 13:35
Quellenverweis	Preiss, S. (2018, September 20). <i>Persönliches Interview zum Thema 3D-Audio</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interview 5:

InterviewpartnerIn	Benedikt Dengler
Ort	St. Pölten
Datum, Zeit	10.11.2018, 14:33
Quellenverweis	Dengler, B. (2018, November 10). <i>Persönliches Interview zum Thema 3D-Audio</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interviewphase 2:

Interview 2.2:

InterviewpartnerIn	Daniel Hollinetz
Ort	St. Pölten
Datum, Zeit	14.12.2018, 18:09
Quellenverweis	Hollinetz, D. (2018b, Dezember 14). <i>Persönliches Interview zur Teilnahme am Versuchsaufbau</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interview 3.2:

InterviewpartnerIn	Peter Kalcic
Ort	St. Pölten
Datum, Zeit	18.12.2018, 20:46
Quellenverweis	Kalcic, P. (2018b, Dezember 18). <i>Persönliches Interview zur Teilnahme am Versuchsaufbau</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Interview 1.2:

InterviewpartnerIn	Daniel Kohlmeigner
Ort	St. Pölten
Datum, Zeit	05.01.2019, 18:16
Quellenverweis	Kohlmeigner, D. (2019, Januar 5). <i>Persönliches Interview zur Teilnahme am Versuchsaufbau</i> [Tonaufzeichnung, Transkript].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kopfbezogenes Koordinatensystem nach Blauert	12
Abbildung 2: HRTF-Messung.....	13
Abbildung 3: Richtungsbestimmende Bänder nach Blauert.....	14
Abbildung 4: Interaurale Pegeldifferenzen	15
Abbildung 5: Interaurale Laufzeitunterschiede.....	16
Abbildung 6: Quellwahrnehmung durch reale Schallquelle und Summenlokalisation	17
Abbildung 7: Grafische Darstellung der Reproduktionsmodelle	23
Abbildung 8: Huygens'sches Prinzip.....	25
Abbildung 9: Resynthese einer Wellenfront durch Einsatz realer Schallstrahler	26
Abbildung 10: Beispiel eines WFS-Systems	26
Abbildung 11: Grafische Darstellung des VBAP-Verfahrens	28
Abbildung 12: Kunstkopf zur Aufnahme von Binauralsignalen	30
Abbildung 13: Sphärisches Mikrofonarray mit tetraedrisch angeordneten Mikrofonkapseln	32
Abbildung 14: Komponenten des B-Formates TM	33
Abbildung 15: Ambisonics-Mikrofonsysteme; Sennheiser Ambeo VR, Zoom H3-VR, RØDE NT-SF1	33
Abbildung 16: Signalpfad eines Ambisonics-Systems	34
Abbildung 17: Zerlegung einer periodischen Sägezahnschwingung in Teilschwingungen.....	35
Abbildung 18: Harmonisches Schwingungsmoden einer idealen Saite.....	36
Abbildung 19: Sphärische Harmonische bis zu der 4ten Ordnung	36
Abbildung 20: Eigenmike® der Firma mh acoustics	38
Abbildung 21: Richtungsschärfe unterschiedlicher Dekodieransätze	40
Abbildung 22: Systemdesign von NHK 22.2	42

Abbildung 23: Layerkonzept von Auro-3D®.....	43
Abbildung 24: Lautsprecher-Layout für Auro 9.1	44
Abbildung 25: Lautsprecher-Layout für Auro 10.1	46
Abbildung 26: Lautsprecher-Layout für Auro 13.1	46
Abbildung 27: Lautsprecher-Layout für AuroMax® 26.1	47
Abbildung 28: Unterscheidung zwischen Beds und Objects in Dolby® Atmos™	49
Abbildung 29: Block-Diagramm des Rendering-Vorgangs für Dolby® Atmos™	49
Abbildung 30: Setup-Guidelines für Dolby® Atmos™ 7.1.4	50
Abbildung 31: Ministry of Sound X Dolby® Atmos™	51
Abbildung 32: Dolby® Atmos™ X ageHa Tokyo	51
Abbildung 33: Einsatz von Dolby® Atmos™ in einer Live-DJ Situation	52
Abbildung 34: DJ-App für die Echtzeitsteuerung	53
Abbildung 35: Flyer einer Veranstaltung im Ministry of Sound	53
Abbildung 36: IOSONO® CORE Audioprozessor.....	54
Abbildung 37: Spatial Audio Workstation Plug-In zur Positionierung von Klangquellen	55
Abbildung 38: Setup für Kraftwerk Show in Düsseldorf	56
Abbildung 39: IOSONO® System im Tresor Club Berlin	56
Abbildung 40: Systemsetup für die Björk-Retrospektive im MoMa New York.....	57
Abbildung 41: DTS:X Logo.....	57
Abbildung 42: DTS MDA-Tools	58
Abbildung 43: 4DSOUND-System im Berliner MONOM	60
Abbildung 44: Einer der 16 Boxenzylinder	61
Abbildung 45: Live-Techno Performance im 4DSOUND-System	62
Abbildung 46: System-Setup des Envelop SF	63
Abbildung 47: Mobiles Envelop Satellite System	64
Abbildung 48: E4L Produktions-Tools.....	65
Abbildung 49: Live-Performance im Envelop-System.....	65

<i>Abbildung 50: Live-Setup, aufgeteilt auf zwei Rechner</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 51: Signalflow im INTORNO LABS System</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 52: System-Design für das MUTEK Festival 2017</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 53: Beispiele für Live-Anwendungen</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 54: Produktionsphasen einer 3D-Audio-Produktion</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 55: Versuchsumgebung und Lautsprecheraufstellung</i>	<i>99</i>
<i>Abbildung 56: Messsetup an der idealen Abhörposition</i>	<i>101</i>
<i>Abbildung 57: Logo der IEM Plug-In Suite und Cockos Reaper</i>	<i>103</i>
<i>Abbildung 58: Sphärischer Panner mit Quelle in der oberen und unteren Hemisphäre</i>	<i>104</i>
<i>Abbildung 59: AllRADecoder Plug-In</i>	<i>105</i>
<i>Abbildung 60: BinauralDecoder Plug-In</i>	<i>105</i>
<i>Abbildung 61: CoordinateConverter Plug-In</i>	<i>106</i>
<i>Abbildung 62: DirectionalCompressor Plug-In</i>	<i>107</i>
<i>Abbildung 63: DirectivityShaper Plug-In</i>	<i>107</i>
<i>Abbildung 64: DistanceCompensator Plug-In</i>	<i>108</i>
<i>Abbildung 65: DualDelay Plug-In</i>	<i>109</i>
<i>Abbildung 66: EnergyVisualizer Plug-In</i>	<i>109</i>
<i>Abbildung 67: FDNReverb Plug-In</i>	<i>110</i>
<i>Abbildung 68: MatrixMultiplier Plug-In</i>	<i>110</i>
<i>Abbildung 69: MultiEncoder Plug-In</i>	<i>111</i>
<i>Abbildung 70: MultiEQ Plug-In</i>	<i>111</i>
<i>Abbildung 71: OmniCompressor Plug-In</i>	<i>112</i>
<i>Abbildung 72: ProbeDecoder Plug-In</i>	<i>112</i>
<i>Abbildung 73: RoomEncoder Plug-In</i>	<i>113</i>
<i>Abbildung 74: SceneRotator Plug-In</i>	<i>113</i>
<i>Abbildung 75: SimpleDecoder Plug-In</i>	<i>114</i>
<i>Abbildung 76: StereoEncoder Plug-In</i>	<i>114</i>

<i>Abbildung 77: ToolBox Plug-In.....</i>	<i>115</i>
<i>Abbildung 78: Ermöglichung der Kommunikation zwischen den Kanälen und den Plug-Ins.....</i>	<i>116</i>
<i>Abbildung 79: Ambisonics-Workflow, beginnend bei der Enkodierung bis hin zur Lautsprecherwiedergabe.....</i>	<i>116</i>
<i>Abbildung 80: Dialog für das Management von Lautsprechern</i>	<i>117</i>
<i>Abbildung 81: 3D-Repräsentation und Energieverteilung des Lautsprecher-Layouts</i>	<i>117</i>
<i>Abbildung 82: Blank Session für die Benützung im Versuchsaufbau</i>	<i>119</i>
<i>Abbildung 83: Routing-Schaltfläche für den Aufruf des Kanalroutings</i>	<i>120</i>
<i>Abbildung 84: Abwählen des „Master-Sends“ im Kanalrouting.....</i>	<i>120</i>
<i>Abbildung 85: Erhöhung der Kanalanzahl der Spur und der Sends im Kanalrouting</i>	<i>120</i>
<i>Abbildung 86: Kanalrouting des „AMBIBUS“ mit Receives und Sends.....</i>	<i>121</i>
<i>Abbildung 87: Daniel Hollinetz bei der Arbeit im Versuchsaufbau.....</i>	<i>124</i>
<i>Abbildung 88: Peter Kalcic bei der Arbeit im Versuchsaufbau.....</i>	<i>126</i>
<i>Abbildung 89: Daniel Kohlmeigner bei der Arbeit im Versuchsaufbau</i>	<i>128</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Kanalanordnung Classic/FuMa</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 2: Kanalanordnung ambiX.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 3: Wiedergabeeigenschaften der Reproduktionsmodelle</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 4: Kanalbelegung</i>	<i>100</i>
<i>Tabelle 5: Messdaten der einzelnen Schallstrahler</i>	<i>102</i>

Anhang

A. Gesprächsleitfaden (a)

Allgemeines:

Icebreaker - Erzähl bitte kurz über dich und deine Arbeitsweise/Umfeld.

Hast du schon einmal etwas von 3D-Audio gehört? Beschreibe bitte einmal was du mit diesem Begriff verbindest?

Stell dir vor, du sitzt in einem Raum und rund um dich sind 18 Lautsprecher Kugelförmig angeordnet. Du kannst diese Lautsprecher beliebig bespielen (Bild). Was kommt dir bei dieser Vorstellung in den Sinn?

Hast du schon einmal eine 3D-Audio Produktion gehört? (Wenn ja, welche?) Erklär mir bitte welchen Eindruck du davon bekommen hast? / Wie würdest du dir eine solche vorstellen?

Glaubst du gibt es in der elektronischen Popularmusik Einsatzmöglichkeiten für bzw. Verlangen nach 3D-Audio? (Wenn ja, welche/warum?)
FF- Wo siehst du den sinnvollsten Einsatzbereich?

Ist aus deiner Sicht eine Anwendung dieser Konzepte in deinem Arbeitsumfeld sinnvoll bzw. realisierbar? Welcher Mehrwert könnte dadurch generiert werden?
FF- Warum würdest du dies tun?

Hast du Vorbehalte gegenüber diesem Thema? (Wenn ja, welche? Warum?)
Welche Hürden könnten im Rahmen der Produktion vorhanden sein? (Warum?)

Denkst du ein Einsatz von 3D-Audio Technik könnte in der Zukunft gängige Produktions- und Wiedergabesysteme in elektronischer Popularmusik zu großen Teilen ablösen? (Wenn ja, wie/warum?)

Haben wir etwas vergessen, was du gerne noch ansprechen möchtest?

Versuchsaufbau:

Wärst du unter Umständen an der Teilnahme eines Versuchsaufbaus interessiert, in welchem du mit einem 3D-Audio Beschallungssystem arbeiten könntest?

B. Gesprächsleitfaden (b)

Wie hat dir die Arbeit in dem Versuchsaufbau gefallen und welche Eindrücke hast du mitgenommen?

Was sind die Möglichkeiten, was die Schwierigkeiten, die dir aufgefallen sind?

Wie war die Arbeit im Vergleich zu der Produktion mit einem Stereo-System für dich persönlich?

FF - Liefert das System einen Vorteil gegenüber deiner aktuellen Produktionsweise? (Wenn ja, wie/warum?)

Hatte die Produktionsumgebung Einfluss auf deine Kreativität?

Was könnte deiner Meinung nach an diesem System verbessert werden? (Wenn ja, wie/warum?)

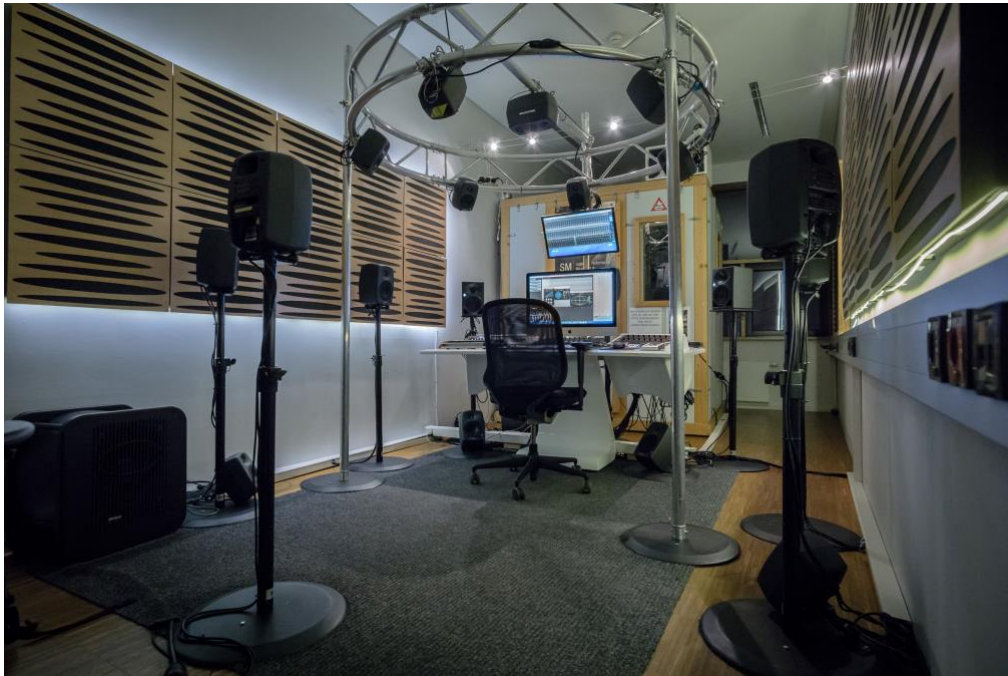
Würdest du wieder mit diesem System arbeiten?

- Warum ja? Was sind Hürden die du dir vorstellen kannst? Welcher Mehraufwand (zeitl., monetär) wäre vertretbar?
- Warum nein? Was müsste passieren damit du damit arbeitest?

Hat der Versuchsaufbau deine Meinung zu 3D-Audio verändert?

Würdest du gerne noch etwas besprechen?

C. Im Interview verwendete Abbildung



D. Digitale Anhänge

Folgende digitale Anhänge können dem der Arbeit beigelegten Datenträger entnommen werden:

Flussdiagramm Audio Studio C.....	I
Configuration Files (Erstellter Decoder, Output Channel Alias File, TotalMix Snapshot, TotalMix Workspace)	II
Fotografien des Versuchsaufbaus	III
Internetquellen	IV
Interviews (Tonaufzeichnungen, Transkripte, Analyse)	V
Reaper Session Template für den Versuchaufbau.....	VI
Software (Cockos Reaper v.5.963, IEM-Plug-In-Suite v1.8.1).....	VII